www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

9e JAARGANG No. 9, blz. 257-288 SEPTEMBER 1947

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

DE CHROMATISCHE AANPASSING VAN HET OOG

door P. J. BOUMA† en A. A. KRUITHOF.

535.733:612.843.31

Bij successieve vergelijking van twee lichtsoorten constateert men, dat de kleurindrukken, door een gekleurd voorwerp teweeggebracht, in het algemeen weinig verschillen, terwijl toch, zoals een simultane vergelijking leert, de kleur bij verlichting met de twee lichtsoorten sterk uiteen kan lopen. Het verschil in gedrag tussen kleurindruk en kleur is o.a. een gevolg van de chromatische aanpassing van het oog. Door proeven over de kleurtonen, waargenomen aan een serie pigmenten (Ostwald-kaartjes) bij verschillende lichtsoorten, werden gegevens omtrent de chromatische aanpassing verzameld. Aan deze gegevens werden enige uit de literatuur bekende beschrijvingswijzen van de chromatische aanpassing getoetst. Er blijken grote fouten te ontstaan als men met behulp van de daaruit afgeleide voorschriften de kleurtonen bij een verandering van lichtsoort wil voorspellen. Uit de experimentele gegevens wordt een nieuw en veel beter voorschrift hiervoor verkregen, hetwelk kan worden geformuleerd met behulp van een hyperbool in het kleurenvlak. De hyperbool gaat door de twee kleurpunten der beide te vergelijken lichtsoorten en moet voorts, om aan te sluiten bij een oude theorie van Helmholtz en von Kries over de chromatische aanpassing, door drie vaste punten gaan (de kleurpunten der hypothetische physiologische grondkleuren). De experimenten, uitgevoerd met acht lichtbronnen, tonen aan dat zulks met behoorlijke benadering het geval is, al wijken de gevonden drie vaste punten aanzienlijk af van de op andere wijze bepaalde grondpunten. Met behulp van de drie vaste punten kan voor elk paar te vergelijken lichtsoorten de benodigde hyperbool zonder verdere empirische gegevens worden geconstrueerd.

Kleur en kleurindruk

In een voorafgaand artikel in dit tijdschrift [1]) is uiteengezet dat onderscheid moet worden gemaakt tussen de begrippen „kleur" en „kleurindruk". Een lichtvlek met gegeven spectrale verdeling, d.i. gegeven kleur, brengt bij een waarnemer een kleurindruk teweeg welke nog afhangt van allerlei omstandigheden, voornamelijk van de kleur der omgeving. Dit hangt samen met het feit dat het oog zich bij de kleur van de omgeving aanpast, welk verschijnsel men chromatische aanpassing noemt.

De invloed van de omgeving komt alleen volledig tot zijn recht bij successieve vergelijking van lichtvlekken. Deze manier van vergelijken, waarbij telkens de omgeving gewijzigd wordt en gewacht wordt tot het oog zich op de nieuwe omgeving heeft ingesteld, is dan ook kenmerkend voor het onderzoek van kleurindrukken. De kleur van een lichtvlek daarentegen wordt vastgesteld door de gebruikelijke methoden der kleurmeting, die berusten op simultane vergelijking onder gestandaardiseerde omstandigheden.

Een kleur wordt gewoonlijk aangegeven door middel van de kleurcoördinaten in een kleurendriehoek, alsmede door haar helderheid [2]). Als kenmerken kan men echter ook gebruiken: dominerende golflengte, verzadigingsgraad en helderheid. Daartegenover staan als kenmerken van een kleurindruk: kleurtoon (aangeduid door een kleurnaam), verzadigingsindruk en helderheidsindruk.

Van belang is nu de practische vraag, welke veranderingen de kleurindrukken, opgewekt door de ons omringende voorwerpen, ondergaan als wij de lichtbron door een andere vervangen, bijv. als wij overgaan van daglicht tot gloeilampenlicht. Het is duidelijk dat we in dit geval te maken hebben

[1]) P. J. Bouma en A. A. Kruithof, Kleuren en kleurindukken, Philips techn. T. **9**, 2-7, 1947 (No. 1).

[2]) Zie bijv. het artikel van P. J. Bouma in Philips techn. T. **2**, 39-46, 1937; uitvoeriger in: P. J. Bouma, Kleuren en kleurindrukken, Philips Technische Bibliotheek, uitg. Meulenhoff, Amsterdam 1946, speciaal hoofdstuk V en VI.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

met successieve vergelijking. In het vorige artikel is er reeds op gewezen dat de genoemde veranderingen in kleurindruk verrassend klein blijken te zijn. Tevens werd echter vermeld, dat tot nu toe over deze veranderingen — waaruit de invloed der chromatische aanpassing blijkt — slechts weinig onderzoekingen werden verricht. In hetgeen volgt, zal nu een reeks experimenten worden beschreven waarbij werd onderzocht, hoe het belangrijkste kenmerk van de kleurindruk van een voorwerp, nl. de kleurtoon, zich bij verandering van de lichtsoort wijzigt. Daarna zullen de resultaten der proeven systematisch worden nagegaan en op grond hiervan zal worden getracht een algemeen beeld te geven van de chromatische aanpassing [3]). De bedoeling hiervan is, voorspellingen omtrent de in de practijk waargenomen kleurindrukken te kunnen doen uit de zuiver physische gegevens van de gekleurde voorwerpen en de lichtbronnen.

Experimentele bepaling van de kleurtoon bij verlichting met verschillende lichtsoorten

Bij de proeven werd als volgt te werk gegaan:

Een groot vel wit papier, dat bijna het gehele gezichtsveld in beslag nam, werd verlicht met een bepaalde lichtsoort. De verlichtingssterkte bedroeg ongeveer 140 lux. Nadat het oog van de waarnemer zowel aan het helderheidsniveau als aan de kleur van zijn gezichtsveld was aangepast, werden achtereenvolgens verschillende gekleurde voorwerpen midden op het papier gelegd en er werd telkens aan de waarnemer gevraagd de kleurtoon te noemen die volgens zijn oordeel elk voorwerp onder de gegeven omstandigheden vertoonde.

Als gekleurde voorwerpen werden de 100 kaartjes van een volledige kring uit Ostwald's kleurenatlas gekozen, en wel die van de nc-kring [4]). Dit is een serie van tamelijk verzadigde kleuren, waarvan de verzadigingsindruk vrijwel constant is en waarvan (bij daglicht) de kleurtoon bij het doorlopen van de nummers 0-99 van geelgroen over geel, oranje, rood, purper, blauw, groen, weer naar geelgroen loopt. De kaartjes werden in willekeurige volgorde vertoond. Daar het de waarnemer niet bekend was met welk kaartje hij te maken had, was de suggestieve invloed („dat is een groen kaartje, dus zal ik het ook wel groen moeten noemen") uitgeschakeld.

Bij de kleurbenoeming moest de waarnemer een keuze maken tussen de 36 genummerde kleurnamen van het volgende systeem:

Hoofdkleuren: zuiver geel (1), oranje (7), rood (13), purper (19), blauw (25) en groen (31).

Tussenkleuren; bijv. tussen blauw en groen: blauw met enig groen (26), blauw met vrij veel groen (27), blauwgroen, waarbij noch het blauw noch het groen overheerst (28), groen met vrij veel blauw (29), groen met enig blauw (30).

Zo kon aan elk kaartje, dat in de atlas een der nummers j = 0-99 bezit, een kleurtoongetal N = 1-36 worden toegekend.

Was de gehele serie bekeken, dan werd de proef herhaald met een andere lichtsoort.

Als lichtsoorten werden in eerste instantie gebruikt kunstmatig daglicht (K), afkomstig van een buisvormige fluorescentielamp met „daglichtkleur", en gloeilampenlicht (G), geleverd door „Bi-Arlita" lampen van 150 W (kleurtemperatuur 2850 °K). Later werden ook andere lichtsoorten bij het onderzoek betrokken.

De proeven met de lichtsoorten G en K werden uitgevoerd door drie waarnemers A, B en C met normale kleurenzin en een waarnemer D met afwijkende kleurenzin (deuteranomalie). De proeven werden voor elke lichtsoort een aantal malen herhaald. Voor elke waarnemer werd bij een gegeven lichtsoort het gemiddelde van N over de verschillende proefreeksen genomen. Vervolgens werd een mathematisch procédé toegepast teneinde de toevallige fouten in het verband tussen j en N zoveel mogelijk te elimineren. In *tabel I* is, in verkorte vorm, het aldus verkregen verband tussen j en N voor de drie waarnemers A, B, C weergegeven, voor het kunstmatig daglicht K en voor het gloeilampenlicht G.

Bij de tabel merken we het volgende op:

1) De overgang van een der lichtsoorten tot de andere doet het kleurtoongetal N voor de meeste kaartjes met slechts één eenheid of minder veranderen. Dit is een kwantitatieve uitdrukking van het eerder vermelde feit dat dank zij de chromatische aanpassing een verandering van lichtsoort meestal slechts geringe veranderingen in de kleurindrukken veroorzaakt. Een groter verschil dan $N_k - N_g = 1$ treedt slechts op in het gebied der zg. overgangskleuren, tussen rood, purper en blauw. Wij weten ook uit het dagelijks leven, dat kleuren in dit gebied grote verschuivingen vertonen bij overgang van daglicht naar gloeilampenlicht.

[3]) Een deel der experimenten, alsmede de grondslagen van de nieuwe wijze om de chromatische aanpassing voor te stellen, zijn reeds beschreven in: P. J. Bouma en A. A. Kruithof, Hue estimation of surface colours as influenced by the colours of the surroundings, Physica 's Gravenhage **9**, 957-966, 1942 en **10**, 36-45, 1943. Soortgelijke onderzoekingen zijn onlangs weer gedaan door H. Helson en J. Grove: Changes in hue, lightness, and saturation of surface colours in passing from daylight to incandescent-lamp light, J. Opt. Soc. Amer. **37**, 387-395, 1947 (No. 5).

[4]) Deze serie werd ook gebruikt voor de proeven beschreven in het vorige artikel [1]).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel I.

Kleurtoongetal N (= 1 tot 36) dat door de waarnemers A resp. B en C werd toegekend aan de 100 Ostwald-kaartjes der nc-serie, genummerd met j = 0 tot 99, bij waarneming in kunstmatig daglicht (N_K) en bij waarneming in gloeilampenlicht (N_G).

j *)	Waarnemer A		Waarnemer B		Waarnemer C	
	N_K	N_G	N_K	N_G	N_K	N_G
0	33,92	33,86	35,35	34,75	34,93	34,69
4	35,48	0,05	1,08	1,07	1,36	1,51
8	2,28	2,50	3,31	3,36	3,20	3,26
13	4,95	5,06	6,84	7,05	6,98	6,42
17	7,81	6,88	8,89	8,59	9,11	8,40
21	11,84	10,19	12,19	11,54	11,37	10,26
25	15,91	13,56	14,12	13,42	14,82	13,16
29	18,82	14,75	14,90	14,42	16,09	14,36
33	19,86	17,91	15,62	15,14	18,19	16,22
38	21,69	20,31	18,09	16,20	19,99	18,82
42	22,56	21,20	20,87	18,30	21,44	19,98
46	23,11	22,11	22,60	20,85	22,62	21,50
50	23,84	23,05	24,06	23,52	23,64	23,09
54	24,30	24,20	24,80	24,51	24,17	23,98
58	25,27	24,91	25,00	24,93	24,89	24,85
63	25,91	25,91	25,31	25,14	25,38	25,83
67	26,30	26,47	25,97	25,69	25,78	26,34
71	27,02	27,19	27,25	26,78	27,43	27,35
75	28,25	27,92	28,87	28,20	28,32	28,18
79	29,25	28,98	30,48	29,75	29,20	28,99
83	29,69	29,42	31,08	30,85	29,71	29,31
88	30,80	30,50	31,88	31,57	30,46	30,31
92	32,30	31,78	32,51	32,50	31,19	31,11
96	33,03	32,75	33,56	33,07	32,17	32,24

*) Oude nummering volgens Ostwald. In nieuwere uitgaven van de kleurenatlas bevat de nc-kring alleen de hier genoemde kaartjes, die dan genummerd zijn van 1 tot 24.

2) De benoeming van eenzelfde kaartje loopt bij de drie waarnemers nogal uiteen. Voor een belangrijk deel berusten dergelijke verschillen niet op werkelijke afwijkingen in de kleurenzin, maar eenvoudig daarop, dat ieder op iets andere wijze geleerd heeft bepaalde kleurgewaarwordingen met de gebruikelijke kleurnamen te verbinden. Men kan de invloed hiervan elimineren door uit te gaan van een gegeven kleurindruk (dus gegeven waarde van N) en zich af te vragen, welk kaartje (nummer j_g) deze kleurindruk teweeg brengt bij gloeilampenlicht, en welk kaartje (nummer j_k) dezelfde indruk geeft bij daglicht. Het verschil $j_g - j_k$ dient dan als maat voor de verandering van de kleurindruk bij overgang van daglicht naar gloeilampenlicht. In *fig. 1* is het uit de tabel afgeleide verschil $j_g - j_k$ (gemiddelde van de drie waarnemers A, B, C) uitgezet als functie van j_g.

3) De in fig. 1 toegepaste methode van weergeven der resultaten is bijzonder geschikt om het verschil tussen de uitkomsten van successieve en simultane vergelijking te laten zien. Voor simultane vergelijking legt men twee kaartjes naast elkaar en verlicht een der kaartjes (j_k) met lichtsoort K, het andere kaartje (j_g) met lichtsoort G. Wederom kan men dan paren van kaartjes j_k, j_g uitzoeken die, op deze wijze vergeleken, onderling dezelfde kleurtoon vertonen (waarbij een benoeming niet eens nodig is!). Voor dit geval kan men bij elkaar behorende kaartjesparen ook, volgens bekende methoden, door berekening vinden [5]). De berekende verschillen $j_k - j_g$ die dan optreden, zijn eveneens in fig. 1 uitgezet: gestippelde kromme. Het verschijnsel dat tengevolge van de chromatische aanpassing de kleurverschillen in het algemeen verkleind tot uiting komen in de kleurindrukken, is hier wel duidelijk tot uitdrukking gebracht.

Dit algemene verschijnsel werd op deze wijze niet alleen bevestigd bij de drie waarnemers A, B, C,

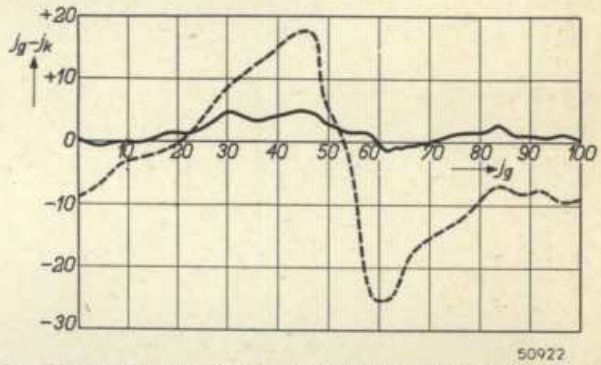

Fig. 1. Getrokken kromme: verschil in kaartjesnummer tussen de Ostwald-kaartjes j_k en j_g die, successievelijk bekeken bij kunstmatig daglicht resp. bij gloeilampenlicht, dezelfde kleurtoon bezitten (dwz. waaraan door een waarnemer dezelfde kleurnaam, of kleurtoongetal N, wordt toegekend). Dit verschil is bepaald als gemiddelde voor drie waarnemers A, B en C, zie tabel I, en het is uitgezet als functie van het nummer j_g.
Gestippelde kromme: de verschillen $j_g - j_k$, berekend voor simultane vergelijking van de, op verschillende wijze belichte kaartjes.
In het feit, dat de getrokken kromme vrijwel overal veel kleinere ordinaten vertoont dan de gestippelde, komt de chromatische aanpassing van het oog tot uiting.

maar ook voor de deuteranomale vierde waarnemer D. De verschillen in de individuele krommen $j_k - j_g$ voor de drie waarnemers A, B, C bleken relatief slechts klein te zijn. Wij beschouwen daarom in het vervolg voor de vergelijking van kunstmatig daglicht en gloeilampenlicht het gemiddelde van de waarnemingen van A, B en C.

Overeenkomstige exemplaren

Verlichting van de bij de proeven gebruikte kaartjes met één der lichtsoorten (bijv. kunstmatig daglicht) veroorzaakt een bepaalde verzameling kleurindrukken; worden de kaartjes met de andere lichtsoort (bijv. gloeilampenlicht) verlicht, dan ontstaat een andere verzameling kleurindrukken.

[5]) Zie de literatuur aangehaald in noot [2]).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Dit door tabel I uitgedrukte feit berust op twee oorzaken: in de eerste plaats zijn de kleuren veranderd: elk kaartje heeft door de veranderde belichting een ander kleurpunt in de kleurendriehoek gekregen; en in de tweede plaats is de chromatische aanpassing van het oog gewijzigd.

De beide verzamelingen bevatten dezelfde volledige reeks kleurtonen (geel, oranje, rood, enz. tot geel toe); maar een gegeven kleurtoon behoort in de eerstgenoemde verzameling in het algemeen bij een ander kaartje dan in de tweede. De kaartjes (j_k, j_g) die in beide verzamelingen overeenstemmende kleurtoon bezitten, noemen we „overeenkomstige exemplaren".

en de ligging hiervan op de tweede polygoon nagaan (in het algemeen moet daarbij natuurlijk tussen de 24 uitgezette punten geïnterpoleerd worden). Beschouwen wij nu telkens paren van overeenkomstige exemplaren, dan is dus onze vraag: op welke wijze zijn de punten van de eerste polygoon toegevoegd aan de punten van de andere polygoon?

Een algemene regel hiervoor zal ons in staat stellen de kleurtoon van elk gegeven voorwerp onder een willekeurige belichting te voorspellen. Om dit toe te lichten maken we eerst een opmerking over de kleurindruk „wit".

Bij niet al te fel gekleurde lichtbronnen heeft de

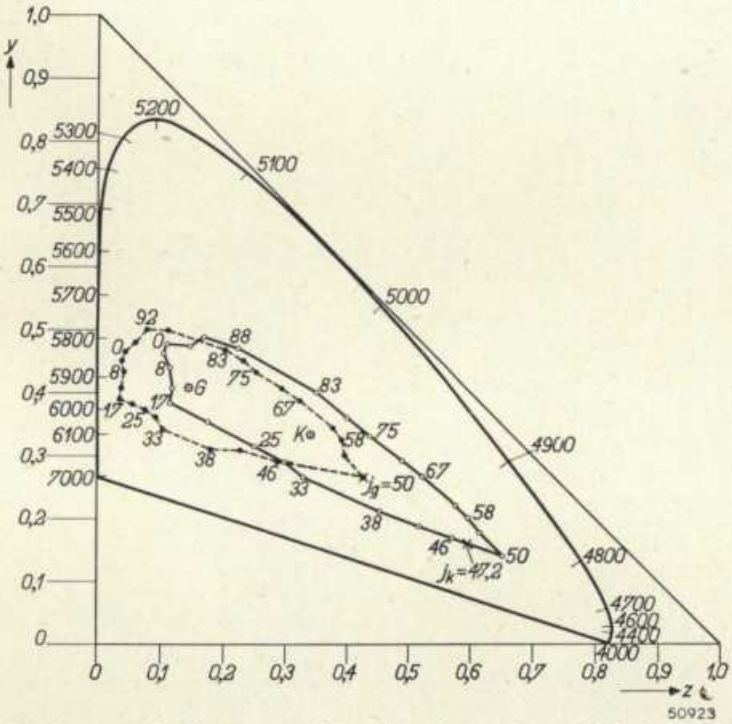

Fig. 2. Ligging van de kleurpunten der nc-kaartjes van Ostwald in de C.I.E.-kleurendriehoek. De gestippelde polygoon verbindt de kleurpunten, verkregen bij gloeilampenlicht, de getrokken polygoon die bij kunstmatig daglicht. *G* en *K* zijn de kleurpunten der twee lichtsoorten zelf.

We stellen nu de vraag, welke kaartjes bij gebruik van twee verschillende lichtsoorten als gevolg van de chromatische aanpassing „overeenkomstige exemplaren" zullen worden.

Om deze vraag aanschouwelijker te kunnen formuleren, stellen wij ons voor, dat wij voor elke lichtsoort de kleurpunten van de kaartjes in de kleurendriehoek berekend hebben. Voor gloeilampenlicht krijgen wij zo de 24 punten (vgl. de noot bij tabel I) van de gestippelde polygoon in *fig. 2*, voor het kunstmatige daglicht de 24 punten van de getrokken polygoon. Voor elk kaartjesnummer op de eerste polygoon, bijv. $j_g = 50$, kunnen we volgens fig. 1 het overeenkomstige exemplaar bepalen — in casu is dit $j_k = 47{,}2$ — chromatische aanpassing ten gevolge, dat een zeer groot wit gekleurd voorwerp, bijv. een tafellaken, bij elke lichtsoort weer de indruk wit maakt (vgl. de in het aangehaalde artikel [1]) beschreven proef). Het kleurpunt van het „witte" voorwerp is natuurlijk bij elke lichtsoort anders. Omdat voor een wit gekleurd voorwerp de spectrale remissiecoëfficiënt niet afhangt van de golflengte, vinden we voor de „witpunten" bij verschillende lichtsoorten eenvoudig de kleurpunten van het licht dat door de respectievelijke lichtbronnen wordt uitgezonden. Nu geldt bij benadering de regel [6]):

[6]) Voor een exactere formulering zie: S. M. Newhall, D. Nickerson en D. B. Judd, J. Opt. Soc. Amer. **33**, 385-418, 1943.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bij verlichting met een bepaalde lichtsoort hebben alle kleuren die met het bijbehorende witpunt op één rechte lijn liggen, dezelfde kleurtoon. We kunnen ons dus om elk witpunt een stralenbundel denken, waarvan iedere straal een lijn van bepaalde kleurtoon voorstelt.

Twee stralen die, uitgaande van verschillende witpunten, behoren bij dezelfde kleurtoon en dus gaan door de kleurpunten van overeenkomstige kaartjes-exemplaren, noemen we overeenkomstige stralen.

Vergelijken we een „onbekende" lichtsoort X met een „bekende", bijv. K, dan hebben we te maken met twee witpunten en twee hiervan uitgaande stralenbundels. De kleurtonen die bij de stralen van bundel K behoren, zijn bekend door middel van hun snijpunten met de bij lichtbron K behorende polygoon (zie boven). Is nu van een willekeurig voorwerp het kleurpunt onder lichtsoort X gegeven en dus ook de bijbehorende straal van bundel X, dan kunnen we de kleurtoon onder lichtsoort X voorspellen mits we in staat zijn de overeenkomstige straal in bundel K op te zoeken.

De taak die we ons stellen is dus, een regel te vinden om de overeenkomstige stralen van twee bundels vast te leggen. Dit kan bijv. geschieden door middel van de meetkundige plaats van hun snijpunt.

Meetkundige plaats van het snijpunt van overeenkomstige stralen

Er zijn verschillende onderstellingen gemaakt omtrent de genoemde meetkundige plaats, die ieder tot een recept leiden voor het vastleggen van overeenkomstige stralen.

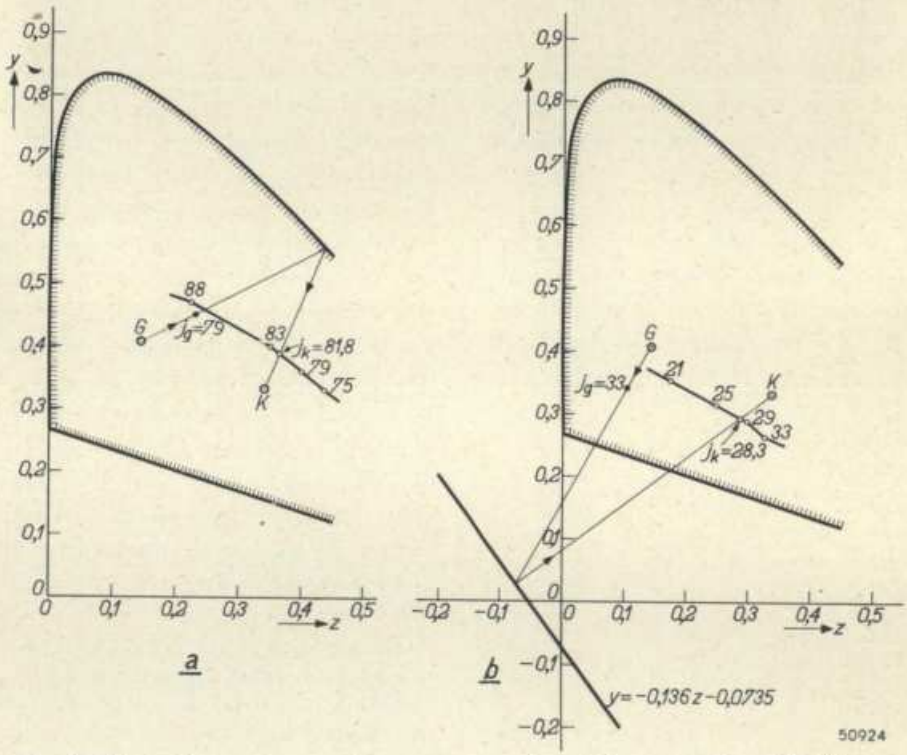

Fig. 3. Illustratie van twee oude recepten ter beoordeling van de gelijkheid van kleurtoon.
a) Snijpunt van elk paar overeenkomstige stralen op de kromme der spectrale kleuren. Het als voorbeeld aangegeven puntenpaar ($j_g = 79$ voor gloeilampenlicht en $j_k = 81{,}8$ voor kunstmatig daglicht) geeft twee kaartjes aan die volgens dit voorschrift gelijke kleurtoon zouden bezitten (overeenkomstige exemplaren).
b) Snijpunt van overeenkomstige stralen op een rechte (Judd's methode). Overeenkomstige exemplaren zijn volgens dit voorschrift bijv.: $j_g = 33$ en $j_k = 28{,}3$.

1) Men heeft bijv. wel ondersteld dat twee overeenkomstige stralen elkaar snijden op de kromme der spectrale kleuren. Nemen we het voorbeeld van de vergelijking van gloeilampenlicht met kunstmatig daglicht, dan vinden we dus twee overeenkomstige stralen, door een willekeurig punt van de kromme der spectrale kleuren met de kleurpunten K en G der beide lichtbronnen te verbinden (zie *fig. 3a*).

De overeenkomstige exemplaren van de beide reeksen kleurindrukken, die in onze proeven respectievelijk bij kunstmatig daglicht en bij gloeilampenlicht ontstaan, vinden we door

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de gevonden stralen met de twee in fig. 2 getekende polygonen te snijden. Zo blijkt bijv., dat kaartje 79, met gloeilampenlicht verlicht, volgens dit recept dezelfde kleurtoon zou geven als kaartje 81,8 bij kunstmatig daglicht.

Verder merken wij op, dat het snijpunt van twee overeenkomstige stralen bij beide verlichtingen dezelfde kleurtoon heeft. We kunnen de gemaakte onderstelling derhalve in een zeer plausibel lijkende vorm ook zo formuleren: de kleurtoon der spectrale kleuren hangt niet af
2) van hun omgeving.

Een tweede recept ontstaat, indien we met Judd [7]) onderstellen, dat overeenkomstige stralen elkaar, in plaats van op de kromme der spectrale kleuren, op een bepaalde rechte lijn snijden (zie fig. 3*b*). Judd koos hiervoor de rechte $y = -0{,}136z - 0{,}0735$, waarin y en z de coördinaten in de hier gebruikte C.I.E.-kleurendriehoek zijn. Volgens dit voorschrift zou bijv. kaartje 33 bij gloeilampenlicht dezelfde kleurtoon geven als kaartje 28,3 bij daglicht.

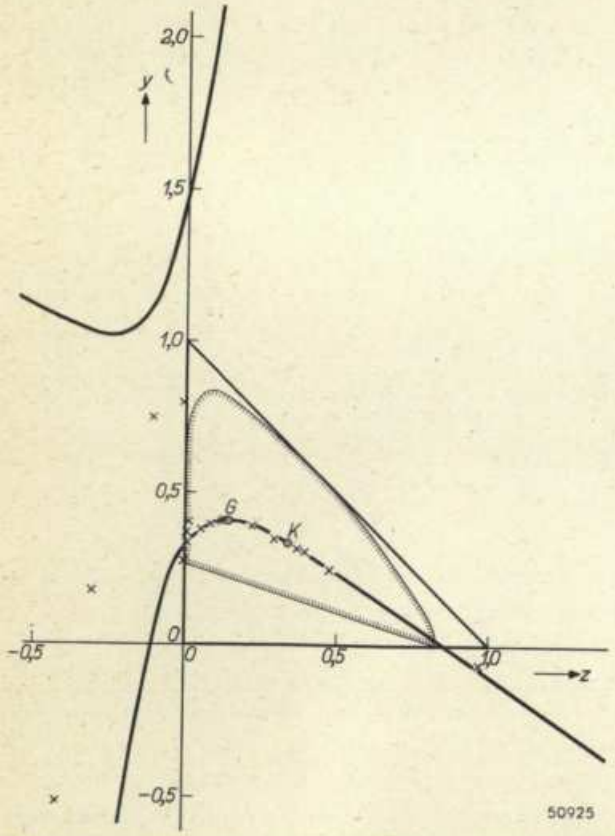

Fig. 4. Experimenteel bepaalde snijpunten (×) van corresponderende stralen in de beide stralenwaaiers die G en K tot centrum hebben. De meetkundige plaats der snijpunten blijkt bij benadering door een hyperbool te kunnen worden voorgesteld. Bij de hyperbool die het best aan de empirische punten aansluit (in de figuur getekend) is de middelbare fout van het „voorspelde" kleurtoongetal N slechts 0,42.

[7]) D. B. Judd, J. Opt. Soc. Amer. **30**, 2-32, 1940.

De rechte $y = -0{,}136z - 0{,}0735$ gaat bij overgang naar het door Judd ingevoerde U.C.S.-stelsel (uniform chromaticity scale), waarin gelijke afstanden in het kleurenvlak zo veel mogelijk gelijke kleurverschillen voorstellen, in de oneindig verre rechte over. Dit betekent, dat in het U.C.S.-stelsel de paren overeenkomstige stralen evenwijdige paren worden.

De hierboven beschreven proeven stellen ons nu in staat, de ware aard van de kromme der snijpunten empirisch te bepalen. Om dit voor de vergelijking van gloeilampenlicht met kunstmatig daglicht uit te voeren, construeren we overeenkomstige stralen, door uitgaande van de beide punten G en K rechte lijnen te trekken door de kleurpunten van — volgens de experimenten — overeenkomstige kaartjes-exemplaren. Het snijpunt van elk gevonden paar overeenkomstige stralen is een punt van de gezochte kromme. *Fig. 4* geeft een aantal aldus bepaalde snijpunten. Het blijkt, dat de punten noch op de kromme der spectrale kleuren, noch op de rechte lijn liggen. Veeleer liggen de punten met goede benadering op een hyperbool, die ook door G en K gaat. Wij gebruiken dus voor ons voorschrift als meetkundige plaats der snijpunten de hyperbool, die zich het best bij de waarnemingen aansluit [8]).

Dat de hyperbool door de punten K en G moet gaan, is direct in te zien; de verbindingslijn van K naar G is een straal van de bundel uit K en is toegevoegd aan een bepaalde straal uit G. Het snijpunt dezer twee overeenkomstige stralen is G zelf. Analoog voor K. Dank zij het feit dat de twee „witpunten", (K, G) zelf op de hyperbool liggen, heeft elke straal die we van een der witpunten uit trekken, nog maar één ander snijpunt met de hyperbool, zodat de constructie van de overeenkomstige straal ondubbelzinnig bepaald is.

Terloops zij nog het volgende opgemerkt. Snijden overeenkomstige stralen elkaar op een kegelsnede, zo betekent dit, dat tussen de beide stralenbundels of „waaiers" een zg. projectief verband bestaat. Hierdoor wordt voldaan aan een noodzakelijke voorwaarde voor het toepassen van de hieronder te noemen theorie van Helmholtz en von Kries. Dit is een der redenen waarom door ons juist een kegelsnede als benadering voor de empirisch gevonden punten van de meetkundige plaats is gekozen.

We kunnen uit de experimentele N-waarden bij lichtsoort K (zie tabel I) met behulp van de diverse voorschriften de N-waarden berekenen die voor lichtbron G verwacht moeten worden, en we kunnen dan nagaan, in hoeverre deze berekende N-waarden

[8]) Deze manier van voorstellen werd door de auteurs reeds beschreven in het eerder aangehaalde artikel: Physica 's Grav. **10**, 36, 1943. In dat artikel is nader uiteengezet, op welke wijze de hyperbolen werden berekend.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

afwijken van de bij *G* experimenteel gevonden waarden (tabel I). De resultaten van een dergelijke berekening zijn in *tabel II* vermeld.

Tabel II.

Middelbare (M.F.) en maximale (Max.F.) afwijkingen tussen berekende en experimentele waarden van het kleurtoongetal *N* (gemiddelde der waarnemers A, B, C) voor lichtbron *G*.

Aangenomen meetkundige plaats der snijpunten	M.F.	Max.F.
Kromme der spectrale kleuren .	2,3	5,0
Rechte lijn volgens Judd . . .	2,8	7,2
Empirisch verkregen hyperbool .	0,42	0,79

De voor de oude recepten gevonden afwijkingen zijn zeer groot te noemen. Voor de methode van Judd betekent de gevonden maximale afwijking bijvoorbeeld, dat wij een kleur die volgens het voorschrift geel-groen zou moeten heten, oranje met veel geel zouden noemen. Deze recepten zijn derhalve voor de practijk geheel onbruikbaar. Met de nieuwe methode daarentegen vinden we een ongeveer zeven maal kleinere middelbare afwijking dan volgens de oude methoden. Dat de berekende hyperbool sommige der experimenteel gevonden snijpunten nog op vrij grote afstand passeert, blijkt toch slechts geringe afwijkingen in de voorspelde kleurtoon ten gevolge te hebben.

Kleurtoon bij andere lichtsoorten

In het voorgaande hoofdstuk is gesproken over het vergelijken van de twee in eerste instantie bij de proeven gebruikte lichtsoorten: gloeilampenlicht en kunstmatig daglicht. Een volgende stap bestaat daarin, ook andere lichtsoorten bij de vergelijking te betrekken.

Door de waarnemer B zijn kleurbenamingsproeven, analoog als hierboven beschreven, verricht met natuurlijk daglicht en met vijf experimentele lage druk kwiklampen, die op de buiswand waren voorzien van verschillende fluorescerende stoffen. *Fig. 5* geeft de kleurpunten („witpunten") *K*, *G*, *D* en *1-5* van het directe licht voor alle acht gebruikte lichtsoorten.

We stellen nu de vraag, of we de vergelijking van twee willekeurige lichtsoorten uit het achttal, dat werd onderzocht, ook kunnen uitvoeren door middel van een kegelsnede als hierboven werd gebruikt. Om dit na te gaan is het voldoende uit de acht lichtsoorten twee in belangrijke mate verschillende te kiezen en daar alle andere mee te vergelijken. Voor dit tweetal waren het gloeilampenlicht (*G*) en het kunstmatig daglicht (*K*), die in het voorgaande reeds werden gebruikt, zeer geschikt.

Het resultaat van de vergelijking is opgegeven in *tabel III*, waarin zijn vermeld de middelbare fout en de maximale fout die optreden, wanneer men de, analoog aan fig. 4 bepaalde, experimentele

Tabel III.

Middelbare (M.F.) en maximale (Max. F.) afwijkingen tussen berekende en experimentele waarden van het kleurtoongetal *N*, voor waarnemer B, bij vergelijking van natuurlijk daglicht *D* en vijf gekleurde lichtsoorten *1-5* met gloeilampenlicht *G*, resp. met kunstmatig daglicht *K*.

Lichtsoort	Vergeleken met *G*		Vergeleken met *K*	
	M.F.	Max. F.	M.F.	Max. F.
G	—	—	0,18	0,48
K	0,17	0,37	—	—
D	0,25	0,59	0,13	0,32
1	0,20	0,45	0,14	0,39
2	0,25	0,57	0,20	0,52
3	0,21	0,49	0,17	0,36
4	0,52	1,39	0,46	1,18
5	0,62	1,35	0,60	1,23
Gemiddelde:	0,32	—	0,27	—

snijpunten vervangt door de punten van de kegelsnede die zich telkens voor twee vergeleken lichtsoorten het best bij de proeven aansluit. We zien, dat de fouten van dezelfde orde van grootte zijn als bij de vergelijking van gloeilampenlicht en kunstmatig daglicht werd gevonden, zodat het ook hier alleszins gerechtvaardigd is, de resultaten door zulk een kegelsnede tot uitdrukking te brengen.

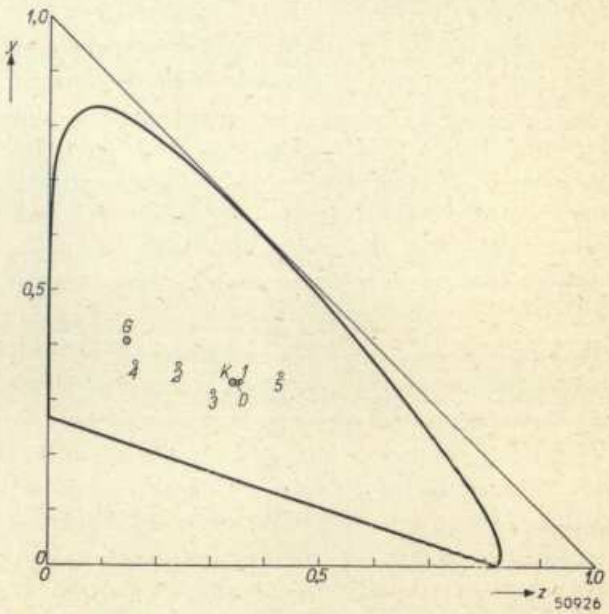

Fig. 5. De kleurpunten van de acht gebruikte lichtbronnen. *G* = gloeilamp, *K* = kunstmatig daglicht, *D* = natuurlijk daglicht, *1-5* experimentele lage druk kwiklampen met verschillende fluorescerende stoffen op de wand.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De grotere fouten voor de lichtsoorten *4* en *5* konden we a priori verwachten, omdat deze lichtbronnen in betrekkelijk uitgestrekte gedeelten van het spectrum hoegenaamd geen energiebijdrage geven. Het gevolg is, dat een deel van de kaartjes een zeer geringe verzadigingsindruk gaf; deze omstandigheid werkt in hoge mate belemmerend op de nauwkeurige beoordeling van de kleurtoon.

Bedenkt men, hoe gering het verschil in kleurtoon is, dat overeenkomt met een afwijking 1 in de kleurtoonbenaming, dan betekent de opgegeven gemiddelde waarde van de middelbare fout, dat tabel III als geheel de mogelijkheid van toepassing van het nieuwe voorschrift voor de practijk bevestigt.

Samenvatting van alle gevonden kegelsneden

We hebben gezien, dat we de resultaten van de kleurtoonvergelijking bij een stel van twee lichtsoorten steeds met behulp van een kegelsnede kunnen samenvatten. Om een overzicht van het geheel te verkrijgen, zal het nog nodig zijn een algemeen voorschrift te geven, waarmee we voor een willekeurig gegeven paar lichtsoorten de ligging van die kegelsnede kunnen voorspellen. Ter verkrijging van een dergelijk voorschrift knopen wij aan bij een oude theorie van Helmholtz en von Kries. Deze zegt, dat de chromatische aanpassing eenvoudig bestaat in een wijziging van de onderlinge gevoeligheidsverhouding der drie kleurprocessen, die zich volgens Helmholtz in ons oog afspelen. Deze wijziging van de gevoeligheidsverhouding zou zover gaan dat daardoor automatisch een het gezichtsveld vullend wit vlak na een verandering van lichtsoort dezelfde witte indruk zou maken als tevoren. Past men de hypothese toe op de omstandigheden van onze experimenten, dan volgt hieruit, dat er drie punten in het kleurenvlak moeten zijn — namelijk de physiologische grondkleuren volgens Helmholtz — waarvan de kleurindruk zich niet door de omgeving laat beïnvloeden. Immers, deze drie punten van het kleurenvlak worden gekenmerkt door de eigenschap dat telkens maar één van de drie kleurprocessen wordt geprikkeld, zodat een wijziging in de onderlinge gevoeligheidsverhouding van de drie processen de kleurindruk en in het bijzonder de kleurtoon van deze „enkelvoudige prikkels" niet kan beïnvloeden. Maar een dergelijke onveranderlijkheid van kleurtonen zijn we reeds eerder tegengekomen, nl. voor de meetkundige plaats der snijpunten van overeenkomstige stralen: gaan we van een lichtsoort over naar een andere, dan zal bij een kleurpunt, gelegen op de bij die overgang behorende kegelsnede, vóór en na de wijziging eenzelfde kleurtoon behoren, want elk punt van de kegelsnede is het snijpunt van twee overeenkomstige stralen.

De opvatting volgens Helmholtz en von Kries laat zich dus alleen rijmen met de experimenten, indien de physiologische grondkleuren op de genoemde kegelsnede liggen. Daar deze redenering voor alle paren lichtsoorten geldt, komen we tot de conclusie, dat voor overeenstemming van de gemaakte hypothese met onze experimenten vereist is, *dat er drie vaste punten in het kleurenvlak zijn, waar alle kegelsneden elkaar snijden.*

Voordat we het bestaan van deze vaste punten aan de hand van het experimentele materiaal onderzoeken, moeten wij nog even ingaan op een verfijning van de tot dusverre gevolgde methode, waarbij werd ondersteld, dat voor een groot wit veld de kleurindruk van het veld ongewijzigd zou blijven bij overschakeling van kunstmatig daglicht naar een andere lichtbron. We hebben al laten uitkomen, dat deze onderstelling niet meer geheel opgaat voor lichtsoorten die zeer sterk afwijken van daglicht. Uit een mathematische beschouwing (waar we hier niet nader op kunnen ingaan) blijkt, dat men met deze onvolledige aanpassing rekening kan houden door als centrum van de stralenwaaier, die de overeenkomstige stralen moet opleveren, bij een sterk van het daglicht verschillende lichtsoort niet meer het kleurpunt van de lichtsoort zelf te nemen, maar een punt dat een weinig verschoven is langs de kegelsnede in de richting van het daglichtpunt. Door deze verfijning in de berekening hebben wij een betere overeenstemming tussen theorie en experiment bereikt. De verfijning is bij de berekening van de waarden van tabel III reeds toegepast.

Tekent men de kegelsneden die voor tabel III berekend zijn, dan blijkt inderdaad dat men drie zulke vaste punten kan aangeven. Volgens de spectrale kleuren in welker buurt de punten liggen,

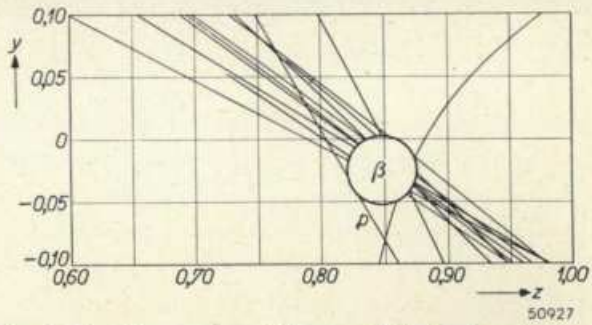

Fig. 6. Bepaling van het „blauwpunt" β uit de reeks kegelsneden, afgeleid uit de vergelijking van de lichtsoorten *D* en *1-5* met *G* en met *K* (waarnemer B).

noemen we deze het „rood-, groen-, en blauwpunt" (ϱ, γ, β). Natuurlijk gaan de kegelsneden niet precies door deze punten. Dit is nog in beste benadering het geval voor het „blauwpunt" β; vgl. *fig. 6*: alle kegelsneden gaan zonder uitzon-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dering door het aangegeven cirkeltje, terwijl de kegelsnede die het meest afwijkt (p in fig. 6), is ontstaan bij het vergelijken van twee soorten fluorescentielampen (K en I van tabel III en fig. 5) die zoveel op elkaar gelijken, dat de bijbehorende hyperbool zeer onzeker wordt. Voor het „roodpunt" ϱ en het „groenpunt" γ was de overeenstemming minder goed, maar het bleek toch mogelijk om ook deze punten met redelijke nauwkeurigheid te bepalen (zie *tabel IV*).

Tabel IV.

Coördinaten van de vaste punten ϱ, γ, β, waarvan men zou moeten uitgaan, om de experimentele resultaten te beschrijven volgens de theorie van Helmholtz en von Kries.

	y	z
ϱ	0,223	—0,117
γ	1,2	0,408
β	0,036	0,871

Nu is een hyperbool geheel bepaald, wanneer er vijf punten van worden gegeven. Kent men de drie punten ϱ, γ, β en geeft men verder de kleurpunten I en II van twee lichtsoorten, dan kan men dus zonder verdere experimentele gegevens de hyperbool construeren, die bij de overgang van lichtsoort I naar II behoort. (Immers, deze hyperbool moet door de punten I en II gaan; ook wanneer men de boven behandelde verfijning aanbrengt, blijft dit van kracht.)

Dit maakt een contrôle op de hierboven gevonden punten ϱ, γ, β mogelijk. We kunnen nl. de hyperbool die we aanvankelijk empirisch hebben gevonden, bijv. bij het vergelijken van de lichtsoorten K en G (zie fig. 4), thans vervangen door de hyperbool die door de vijf punten K, G, ϱ, γ, β gaat, en we kunnen dan berekenen in hoeverre de in tabel III gegeven afwijkingen toegenomen zijn tengevolge van de eis dat de hyperbool door ϱ, γ en β moet gaan.

Doet men dit voor alle kegelsneden, dan blijkt dat de gemiddelde afwijkingen van tabel III wel iets, maar toch niet in belangrijke mate zijn toegenomen, nl. van 0,32 en 0,27 tot 0,40 en 0,38. We concluderen dus, dat ons gehele experimentele materiaal met een redelijk kleine middelbare fout beschreven kan worden door kegelsneden, gaande door ϱ, γ en β.

Het volledige voorschrift voor het opzoeken van overeenkomstige stralen kan nu als volgt geformuleerd worden. Voor het vergelijken van twee lichtsoorten I en II levert elk punt van de kegelsnede die door ϱ, γ, β en de kleurpunten I en II gaat, één paar stralen. Voor het vergelijken van allerlei lichtsoorten met één gegeven lichtsoort, bijv. K, moet men zich bedienen van de kegelsnedenbundel die tot basispunten heeft K, ϱ, γ en β. Deze bundel kegelsneden (hyperbolen) treedt thans in de plaats van de enkelvoudige kromme waarvan in de andere voorschriften sprake was, te weten de kromme der spectrale kleuren, respectievelijk de rechte lijn volgens Judd.

Volgens de hier ontwikkelde gedachtengang zouden de gevonden drie vaste punten ϱ, γ, β de drie physiologische grondpunten van Helmholtz moeten zijn. Men heeft deze grondpunten ook langs andere wegen trachten te bepalen, o.a. door het onderzoek van kleurenblinden [9]). De zo gevonden grondpunten blijken vrij sterk af te wijken van onze vaste punten ϱ, γ, β. De oorzaak hiervan is ons niet bekend.

Deze discrepantie doet echter niets af aan het feit dat we de proefresultaten van de waarnemer B inderdaad met de vermelde drie vaste punten kunnen beschrijven. Of dezelfde vaste punten ook voor andere normale waarnemers gelden — dit zou men moeten verwachten als de drie vaste punten werkelijk identiek met de grondpunten van Helmholtz zijn —, kan pas door verdere onderzoekingen worden uitgemaakt. In elk geval echter is het aannemelijk dat het principe van de beschrijvingswijze (zonodig met andere vaste punten) voor elke waarnemer zal kunnen worden toegepast.

We willen hier nog opmerken, dat men de gehele serie proeven die hier beschreven is, ook op een andere manier zou kunnen doen: in plaats van verschillende lichtsoorten en één bepaalde, wit gekleurde achtergrond te nemen, kan men met één bepaalde lichtsoort werken en verschillende, effen gekleurde achtergronden gebruiken. Bij niet al te grote afwijkingen van wit zal ook hier gelden dat de kleurtoon van de achtergrond „wit" wordt, dank zij de chromatische aanpassing. De verschuivingen van de kleurtonen die nu optreden bij de op de achtergrond gelegde kaartjes, zijn verwant aan diegene die we bij het verschijnel van het zg. simultaancontrast ontmoeten [10]). De interpretatie van de aldus genomen proeven is zelfs iets eenvoudiger dan die van de werkelijk uitgevoerde, omdat de kleurpunten van de kaartjes bij verwisseling van de achtergrond onveranderd blijven.

Wat de practijk betreft, heeft men in de eerste plaats wel degelijk met verschillende lichtbronnen te maken — hieraan dankt het gehele vraagstuk

---

[9]) A. König en G. Dieterichi, Z. Psychol. Physiol. der Sinnesorgane **4**, 241-347, 1893. H. E. Ives, J. Frankl. Inst. **195**, 23-44, 1923. P. J. Bouma, Physica 's Grav. **9**, 773-784, 1942.

[10]) Dit is het verschijnsel, dat het verschil tussen de kleurindrukken van twee pigmenten of lichtvlekken groter wordt, indien deze vlak naast elkaar worden waargenomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zijn actualiteit —, maar in de tweede plaats valt ook met een verandering van de achtergrond te rekenen. De achtergrond zal meestal niet wit zijn, en zelfs niet eens effen, maar men zal de invloed er van op de chromatische aanpassing moeten uitdrukken door die van een aequivalente effen achtergrond met een bepaalde „gemiddelde kleur". Naar gelang van de verzadiging van deze gemiddelde kleur (afwijking van wit), zal men een continue overgang hebben van de verschijnselen die men onder de „chromatische aanpassing" kan rekenen, tot die gevallen waar men van simultaancontrast moet spreken.

Voorts moet, als men de mogelijkheid om kleurtonen te voorspellen in de practijk wil toepassen, de restrictie gemaakt worden dat bij de kleurtoonbenaming soms psychische invloeden een oppermachtige rol spelen. Er is bijv. heel wat voor nodig om iemand er toe te brengen aan het gras een andere kleur dan groen toe te schrijven.

Verandering van de verzadigingsindruk tengevolge van de chromatische aanpassing

Behalve de kleurtoon wordt ook de verzadigingsindruk beïnvloed door de chromatische aanpassing. Een enkel voorbeeld moge dit nog illustreren. Bekijkt men fig. 2, dan zou men verwachten, dat het gele kaartje (nummer 4) bij gloeilampenlicht een meer verzadigde indruk zou maken dan bij daglicht. Ten gevolge van de chromatische aanpassing nemen wij in de practijk juist het omgekeerde effect waar: bij gloeilampenlicht maakt geel meer de indruk van „bijna wit" te zijn dan bij daglicht. Vandaar, dat dunne gele inktlijnen op wit papier bij gloeilampenlicht bijna niet zijn te onderscheiden.

Ook voor dit geval treft men in de literatuur verschillende „recepten" aan om te bepalen, wanneer wij twee kleuren dezelfde verzadigingsindruk zullen toekennen. Maar aangezien ons daarover geen nauwkeurige experimenten ter beschikking staan, gaan wij hier niet verder op in.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

KLEINE SELENIUMVENTIELEN

door J. J. A. PLOOS van AMSTEL. 621.314.634

Een seleniumventiel bestaat in wezen uit een laag selenium, een sperlaag en een als kathode fungerende laag metaal. De eigenschappen van zulk een ventiel hangen er in hoge mate van af, of en hoe dit metaal bij het opbrengen met selenium reageert. Met sommige metalen als kathodemetaal verkrijgt men ventielen met een bijzonder lage weerstand in de doorlaatrichting; andere metalen maken het ventiel geschikt voor het gelijkrichten van betrekkelijk hoge spanning. Dit laatste wordt nog bevorderd door het aanbrengen van een extra of kunstmatige sperlaag. Gebruik makend van deze methoden heeft Philips drie soorten seleniumventielen ontwikkeld, waarvan er twee uitsluitend in kleine (enkele mm), de derde ook in grotere afmetingen worden gefabriceerd. Besproken worden de voornaamste eigenschappen en toepassingen van deze kleine ventielen.

Sperlaagventielen zijn in de loop der jaren ontwikkeld tot electrische schakelelementen met een grote verscheidenheid van eigenschappen, afmetingen en toepassingen. Een artikel waarin de algemene samenstelling van een sperlaagventiel werd behandeld en enige theoretische beschouwingen over de werking werden gegeven, is in 1939 in dit tijdschrift verschenen [1]), een jaar later gevolgd door een artikel over het gebruik van deze ventielen — en wel in het bijzonder seleniumventielen — in gelijkrichters [2]). Wij zullen nu nader ingaan op enkele details van de samenstelling. Hierbij zal blijken dat door de keuze van bepaalde materialen en van de behandelingswijze op de eigenschappen van het eindproduct in een bepaalde richting invloed kan worden uitgeoefend. Aldus is het mogelijk, voor een gesteld doel de gunstigste oplossing te bereiken.

Van een ventiel verlangt men in het algemeen een zo laag mogelijke weerstand in de doorlaatrichting, een zo hoog mogelijke weerstand in de sperrichting en een zo gering mogelijke capaciteit. Ten dele zijn deze eisen met elkaar in strijd; zo gaat bijv. een vermindering van de weerstand in de doorlaatrichting hand in hand met een afneming van de weerstand in de sperrichting. Welke kant men uit wil, hangt er geheel vanaf, op welke eigenschap bij de beschouwde toepassing de nadruk valt. Welke middelen ons ten dienste staan om de gewenste kant uit te gaan zal uit het onderstaande blijken. In het bijzonder zullen wij hier kleine seleniumventielen beschouwen (grootste afmeting enkele mm), aangezien hierbij de toepassingen het meest gevarieerd zijn.

Allereerst zij herinnerd aan de algemene opbouw van een seleniumventiel (*fig. 1a*): tussen een laag halfgeleidend selenium en een laag goed geleidend metaal bevindt zich een zeer dunne isolerende sperlaag. Electronen blijken gemakkelijker in de sperlaag te treden van het aan vrije electronen rijke metaal uit dan van het electronenarme selenium uit. Een positieve stroom komt dus gemakkelijker tot stand in de pijlrichting (doorlaatrichting) dan omgekeerd (sperrichting), zie fig. 1*a*.

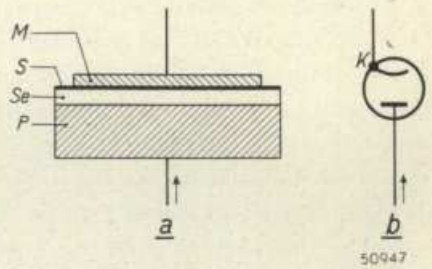

Fig. 1. *a*) Schematische voorstelling van een seleniumventiel. *P* = metalen draagplaat, *Se* = laag halfgeleidend selenium, *S* = sperlaag, *M* = goed geleidende laag metaal of legering. *b*) Ter vergelijking een ventiel met gloeikathode. De emitterende kathode *K* komt overeen met het eveneens electronen afgevende metaal *M*.

Wil men een seleniumventiel waardoor stroom in de doorlaatrichting vloeit, vergelijken met een gloeikathodeventiel (fig. 1*b*), dan kan men zeggen — zonder zich over het verschil in mechanisme uit te laten — dat het metaal overeenkomt met de gloeikathode (vandaar dat wij spreken van kathodemetaal of kathodelaag). Het is in vele gevallen gemakkelijk dit beeld voor ogen te hebben.

Invloed van de samenstelling van een seleniumventiel op zijn eigenschappen

De vervaardiging van een seleniumventiel kan als volgt geschieden: op een metalen draagplaat — welker functie het is, stevigheid aan het geheel te verlenen — giet men gesmolten selenium uit, dat vervolgens vlakgedrukt en aan een warmtebehandeling onderworpen wordt. Hierbij ontstaat aan het oppervlak van het selenium een isolerende laag,

[1]) W. Ch. van Geel, Sperlaaggelijkrichters, Philips techn. T. 4, 104-110, 1939.
[2]) D. M. Duinker, Het gebruik van seleenventielen in gelijkrichters, Philips techn. T. 5, 200-209, 1940.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

die wij de genetische of natuurlijke sperlaag noemen (in tegenstelling tot de straks ter sprake komende kunstmatige sperlaag). Ten slotte wordt op de een of andere wijze — bijv. door opspuiten, door verdamping in vacuo, of door verstuiving in een gasontlading — een goed geleidende laag metaal (eventueel legering) aangebracht.

Reacties tussen kathodemetaal en selenium

De gelijkricht-eigenschappen van het zo verkregen ventiel komen tot uiting in de stroom-spanning-karakteristieken, die men in beide richtingen aan het ventiel kan opnemen (hoe dit het beste kan geschieden, komt aanstonds ter sprake). Een andere eigenschap, die bij sommige toepassingen van groot gewicht is, is de capaciteit die men tussen de draagplaat en de kathodelaag — die de uitwendige electroden vormen — kan meten. Het blijkt nu dat zowel de grootte dezer capaciteit als het verloop van de stroom-spanning-karakteristieken in hoge mate afhangt van de aard van het metaal of de legering waaruit de kathodelaag bestaat, en van de behandeling die men het ventiel doet ondergaan. In hoofdzaak wordt het resultaat bepaald door de reacties die tussen het kathodemetaal en het selenium plaats vinden. Men kan hier twee gevallen onderscheiden: die waar de reactie tussen het selenium en het metaal niet-geleidende stoffen vormt, en die waar de reactieproducten wel geleidend zijn. In het algemeen kunnen dergelijke reacties worden begunstigd door het ventiel op hoge temperatuur te brengen. Bovendien worden de reacties waarbij niet-geleidende verbindingen ontstaan, bevorderd door deze verhitting tot boven het smeltpunt van het kathodemetaal op te voeren en tegelijkertijd een spanning aan te leggen waarbij het metaal positief ten opzichte van het selenium is. Hierdoor zullen namelijk positieve metaalionen naar het selenium gaan.

Heeft men met isolerende (of althans zeer slecht geleidende) Se-metaal-verbindingen te doen, dan kan men deze als een aangroeiing van de sperlaag beschouwen. Onderwerpt men een ventiel waarin zulke verbindingen kunnen ontstaan, aan een warmtebehandeling, dan kan men een vermindering van het geleidingsvermogen in beide richtingen en van de capaciteit waarnemen, in overeenstemming met het beeld van een dikker geworden sperlaag. Voorbeelden van metalen die met selenium slecht geleidende verbindingen vormen, zijn cadmium, magnesium en aluminium. Op de werking van cadmium komen wij straks terug.

Gebruikt men daarentegen in de kathodelaag metalen die met selenium goed geleidende verbindingen vormen — voorbeelden van zulke metalen zijn goud, zilver, antimonium — dan kan men de laag die deze verbindingen vormen, opvatten als de voortzetting van hetzij de kathodelaag hetzij het selenium. De sperlaag zelf kan hierbij in eerste instantie onveranderd blijven. Niettemin zal ook hier in de regel worden waargenomen dat de karakteristieken tijdens de reactie veranderingen hebben ondergaan en wel dikwijls in de zin van een lagere weerstand in beide richtingen. In een der soorten van de door Philips gefabriceerde ventielen wordt dit toegepast.

Kunstmatige sperlaag

In plaats van te volstaan met een genetische sperlaag, al of niet uitgebreid met isolerende Se-metaal-verbindingen, kan men ook op de genetische sperlaag, alvorens er de kathodelaag op neer te slaan, een kunstmatige sperlaag aanbrengen. Verscheidene stoffen (vooral bepaalde organische verbindingen) kunnen hiervoor dienen. Door het gebruik van zulk een kunstmatige sperlaag, die steeds betrekkelijk dik is, worden reacties als boven genoemd sterk belemmerd; voor zover zij toch nog plaats vinden, zijn zij van weinig invloed meer. Van meet af aan is de capaciteit tussen de electroden van zulk een ventiel, per eenheid van oppervlak, belangrijk lager dan bij een ventiel zonder kunstmatige sperlaag, doch tevens zijn de inwendige weerstanden in beide richtingen veel hoger.

Meetmethoden

Alvorens te laten zien welke typen seleniumventielen Philips volgens deze gezichtspunten vervaardigt, willen wij even op de meetmethoden ingaan.

Opnemen van dynamische stroom-spanning-karakteristieken

De karakteristiek (stroom als functie van de spanning, hetzij in de doorlaat-, hetzij in de sperrichting) kan men opnemen door een aangelegde gelijkspanning stapsgewijs te veranderen en telkens de bijbehorende stroom te meten. In het in noot [2]) aangehaalde artikel echter werd reeds vermeld dat een op deze wijze verkregen, statische karakteristiek in de regel zal verschillen van de betrekking die tussen de gelijktijdig optredende ogenblikswaarden van stroom en spanning bestaat, indien het ventiel aan een snel wisselende spanning wordt onderworpen (dynamische karakteristiek). Daar dit laatste bij verreweg het grootste deel der toepassingen het geval is, interesseren ons dus in de eerste plaats de dynamische karakteristieken. Deze kunnen bijv. door middel van een kathodestraal-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

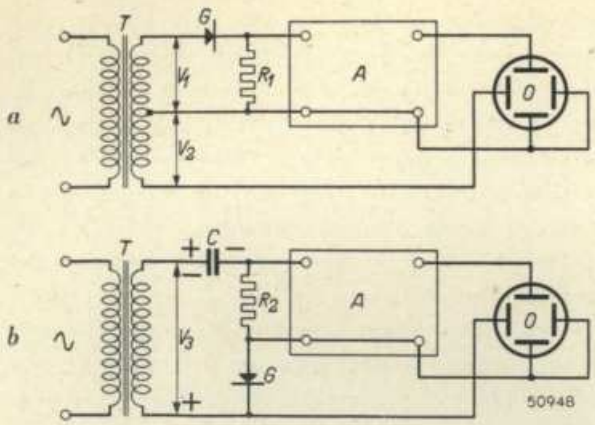

Fig. 2. Schakelingen voor het opnemen van dynamische karakteristieken van sperlaagventielen. (*a*) in de doorlaatrichting, (*b*) in de sperrichting. Daar voor de doorlaat- en de sperkarakteristiek verschillende schalen gewenst zijn, worden deze karakteristieken in verschillende schakelingen opgenomen. In (*a*) is de weerstand R_1 klein ten opzichte van de weerstand in de doorlaatrichting van het ventiel G; de spanning V_1 (ongeveer 1 V) is dus nagenoeg gelijk aan de spanning aan het ventiel. De grotere spanning V_2, geleverd door dezelfde transformator T als V_1, is dus tevens een maat voor de spanning aan het ventiel; zij levert de horizontale uitslag op de oscillograafbuis O. De spanning aan R_1, een maat voor de stroom door het ventiel, wordt via de versterker A toegevoerd aan de platen voor de verticale uitslag.

b) Aan het ventiel G ligt de som van de wisselspanning V_3 en de gelijkspanning van de condensator C. De lekstroom, die door het ventiel loopt als V_3 de aangegeven polariteit heeft, veroorzaakt in de weerstand R_2 een spanningsverlies dat via de versterker A de verticale uitslag op de oscillograafbuis O levert, terwijl de spanning aan G rechtstreeks voor de horizontale uitslag zorgt.

oscillograaf zichtbaar worden gemaakt. *Fig. 2* laat de hierbij gebruikte schakelingen zien.

Meting van de capaciteit

De capaciteit kan worden bepaald met behulp van de in *fig. 3* aangegeven brugschakeling. Aan het ventiel wordt hierbij een regelbare gelijkspanning E in de sperrichting gelegd, waarop een kleine wisselspanning, bijv. 10 mV, is gesuperponeerd. Daar het meetresultaat enigszins van de frequentie afhangt, zal men bij voorkeur de meting uitvoeren met een frequentie in het gebied waarbij het ventiel zal worden gebruikt (in het geval van bepaalde modulatorcellen bijv. met 60 kper/sec). Door instelling van de weerstand R en de capaciteit C brengt men de brug zo goed mogelijk in evenwicht. De afgelezen waarde van C is dan de gezochte capaciteit. Deze blijkt sterk van de gelijkspanning E af te hangen; hiermee moet men bij het onderling vergelijken van ventielen terdege rekening houden.

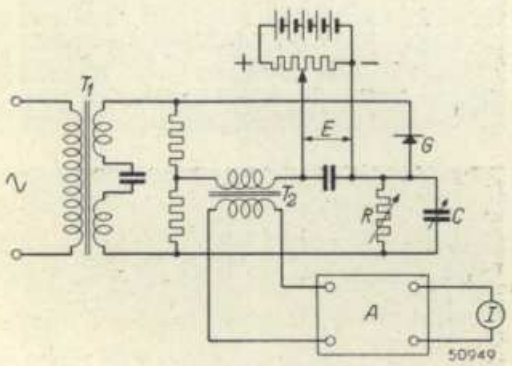

Fig. 3. Brugschakeling voor het meten van de capaciteit van sperlaagventielen. T_1 = transformator die secundair een spanning van 2 × ca 10 mV met een frequentie van bijv. 60 kper/sec levert; G = te onderzoeken ventiel; R en C = regelbare weerstand en capaciteit, waarmee de brug in evenwicht wordt gebracht; T_2 = uitgangstransformator, aangesloten op een versterker A en een indicatie-instrument I; E = regelbare gelijkspanning, waar de gevonden capaciteit sterk van afhangt. De condensator in serie met de secundaire wikkeling van T_1 voorkomt dat er door deze spoel gelijkstroom zou kunnen lopen.

Bij de vraag, welke verklaring kan worden gegeven van het feit dat de capaciteit afhangt van de spanning, verwijzen we naar hetgeen in het in noot [1]) aangehaalde artikel werd gezegd over isolatoren en halfgeleiders: in een isolator is elk electron aan zijn plaats (dwz. aan een bepaald atoom) gebonden, in een halfgeleider daarentegen kunnen de electronen

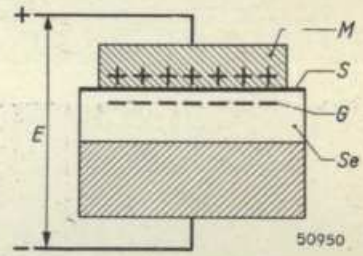

Fig. 4. De spanning E in de schakeling volgens fig. 3 veroorzaakt aan weerszijden van de sperlaag S ladingen, en wel positieve in het metaal M en negatieve in het halfgeleidende selenium Se. In dit laatste ontstaat daardoor een gebied G, waar alle open plaatsen door electronen zijn bezet en dat dientengevolge geen geleidingsvermogen meer bezit. Dit gebied G wordt dikker naarmate de spanning E hoger is, hetgeen de daarbij gemeten daling van de capaciteit verklaart.

zich bewegen, en wel dank zij het feit dat er hetzij electronen te veel zijn, hetzij hier en daar een electron ontbreekt. De geleiding komt in het laatste geval tot stand doordat electronen zich van de ene open plaats naar de volgende begeven. Zouden alle open plaatsen door electronen bezet zijn, dan was er geen geleidingsvermogen meer.

Men kan zich voorstellen dat iets dergelijks in het selenium gebeurt als men op een seleniumventiel een gelijkspanning aansluit (Se negatief, metaal positief, *fig. 4*): er worden dan in het selenium electronen in de richting van de sperlaag getrokken; het laagje van de halfgeleider dat onmiddellijk aan de sperlaag grenst, raakt aldus verzadigd met electronen en verliest dientengevolge zijn geleidingsvermogen. Naarmate de aangelegde spanning hoger is, zal deze isolerende laag zich verder in de halfgeleider uitstrekken, hetgeen een overeenkomstige daling van de capaciteit tussen de beide electroden ten gevolge heeft.

Bespreking van drie soorten seleniumventielen

De vraag uit verschillende gebieden der practijk naar sperlaagventielen met uiteenlopende eigenschappen heeft geleid tot de fabricage van een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

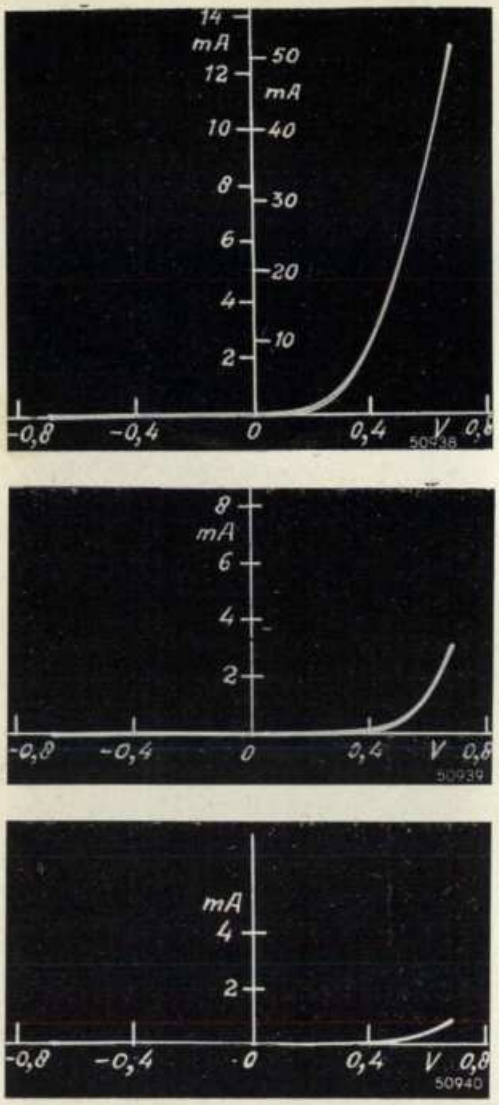

Fig. 5. Dynamische karakteristieken voor de doorlaatrichting, bepaald volgens de schakeling van fig. 2*a* en, evenals de in fig. 6 en 7 afgebeelde karakteristieken, opgenomen met een oscillograaf type GM 3156. Amplitude van V_1: 0,68 V.
a) Cel van de soort I, diameter kathodelaag 1,5 mm,
b) Cel van de soort II, diameter kathodelaag 3 mm,
c) Cel van de soort III, diameter kathodelaag 3 mm.
De linkse stroomschaal bij (*a*) geeft de gemeten stromen aan, de rechtse schaal, die zou gelden voor een diameter van 3 mm, is toegevoegd om vergelijking met de vier maal zo grote cellen van (*b*) en (*c*) te vergemakkelijken. Links van de *i*-as ziet men een gedeelte van de sperkarakteristiek, dat nagenoeg met de negatieve abscis-as samenvalt.

drietal soorten, die wij in dit artikel met I, II en III zullen aanduiden en bij ieder waarvan de afmetingen nog zodanig kunnen worden gekozen dat zij voor een bepaald doel het gunstigst zijn. In de volgorde I-II-III neemt — per eenheid van werkzaam oppervlak beschouwd — de capaciteit af, de weerstand in de doorlaatrichting toe. Voor de bespreking is de volgorde II-III-I gekozen.

Soort II

Het oudst is de soort II, waarbij onmiddellijk op de genetische sperlaag een legering van tin, cadmium en bismuth wordt aangebracht. Het cadmium in deze legering zal, zoals reeds werd vermeld, met selenium een isolerende verbinding vormen, die mede tot de sperlaag kan worden gerekend. Zulk een verbinding werkt gunstig wegens de verhoging van de weerstand in de sperrichting en de verlaging van de capaciteit welke er het gevolg van zijn; hier staat echter een hogere doorlaatweerstand tegenover.

De reden waarom cadmium in combinatie met tin en bismuth wordt gebruikt, is dat met deze drie metalen een legering met een laag smeltpunt kan worden samengesteld, die goed te spuiten is en die in vloeibare vorm kan worden bewaard zonder

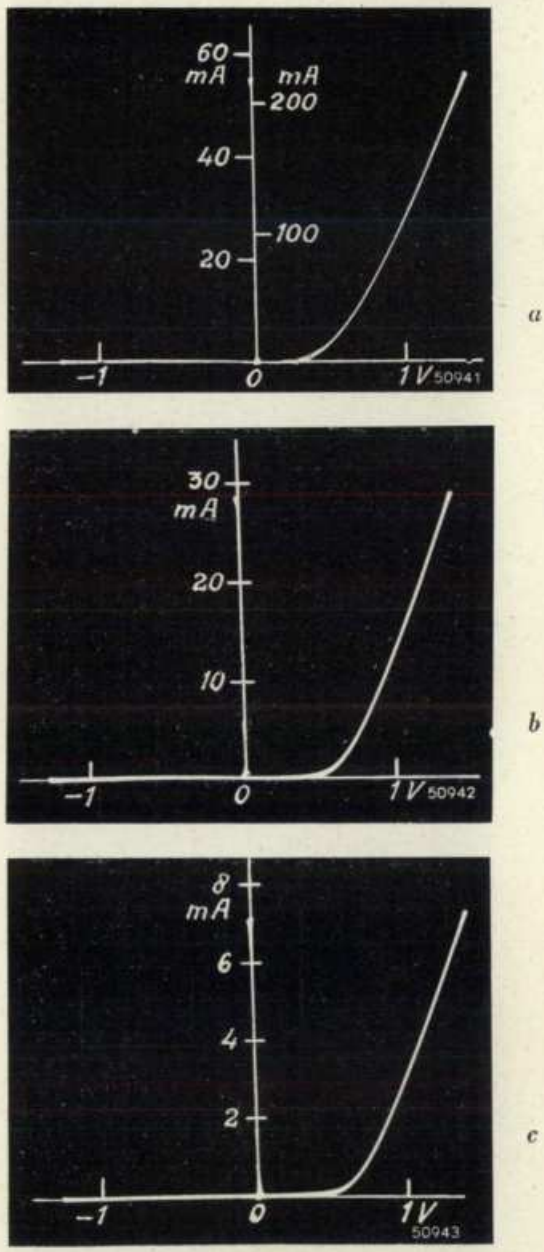

Fig. 6. Hetzelfde als fig. 5, echter met een spanningsamplitude van 1,34 V.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

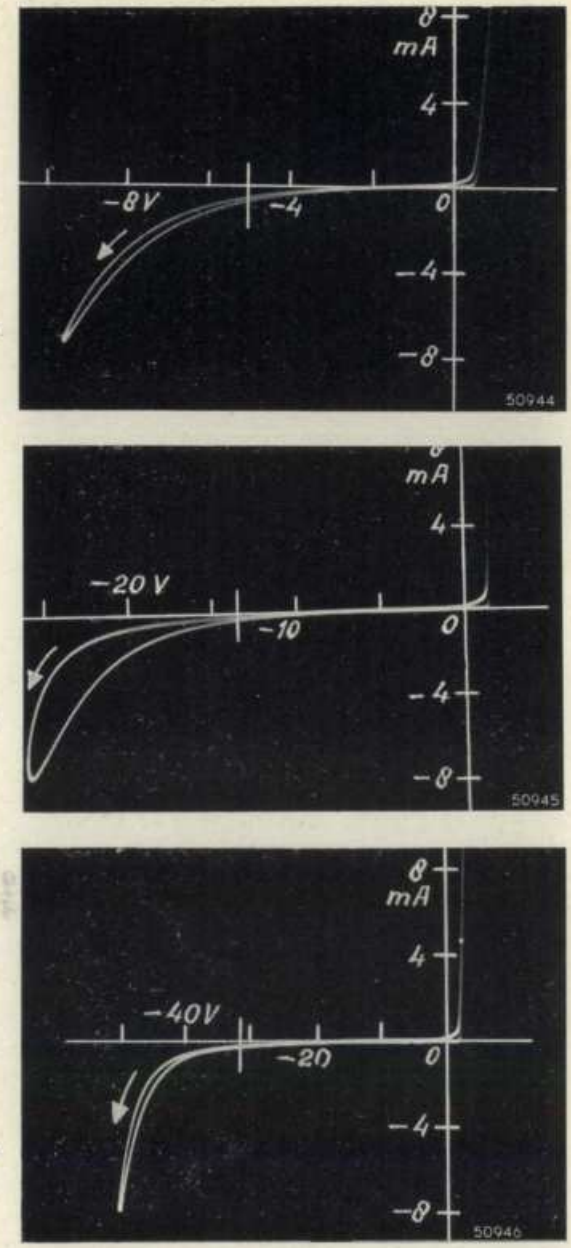

Fig. 7. Dynamische karakteristieken voor de sperrichting, opgenomen aan de drie ventielen I, II en III in de schakeling volgens fig. 2*b*. De ventielen waren bij deze meting, wat de spanning betreft, zwaar overbelast. Daarbij blijkt de sperkarakteristiek vaak een eigenaardige lusvorm te vertonen, zoals vooral bij II het geval is; de lus wordt in de pijlrichting doorlopen. De in normaal bedrijf maximaal toelaatbare sperspanning is door een verticaal streepje aangeduid. Rechts van de ordinaatas is een gedeelte van de doorlaatkarakteristiek te zien.

al te veel te oxyderen. Tevens kan men de legering als soldeer voor een der aansluitdraden gebruiken.

Dynamische doorlaatkarakteristieken van een ventiel van soort II vindt men in *fig. 5b* en *6b* voor resp. 0,68 V en 1,34 V amplitude van de spanning V_1 (vgl. fig. 2*a*). De dynamische sperkarakteristiek is weergegeven in *fig. 7b*. In *fig. 8* vindt men in kromme *II* het verloop van de capaciteit als functie van de aangelegde gelijkspanning E. Op deze figuren komen wij terug bij de bespreking van de soorten III en I.

Soort III

Bij ventielen van soort III wordt vóór het aanbrengen van de Sn-Cd-Bi-legering de genetische sperlaag versterkt met een kunstmatige sperlaag. Het voornaamste gevolg hiervan is een verbetering van de spereigenschappen zoals blijkt bij vergelijking van fig. 7*c* met fig. 7*b*, die beide aan ventielen met 7 mm² werkzaam oppervlak zijn opgenomen. Men ziet dat men bij het ventiel van soort III tot veel hogere spanning kan gaan voordat de lekstroom snel gaat toenemen (wat als een aankondiging van doorslag kan worden beschouwd). Dit is vooral van belang voor het gelijkrichten van hoge spanningen, waarbij men, ventielen van soort III gebruikende, met een kleiner aantal in serie kan volstaan.

Zoals te verwachten was, moet men bij de betere spereigenschappen genoegen nemen met een minder goede doorlaatkarakteristiek: weliswaar is de „drempelspanning" (waarbij de stroom merkbaar wordt) bij soort III slechts weinig hoger dan bij soort II (vgl. fig. 5*c* met 5*b*, opgenomen aan even grote ventielen en op dezelfde schaal weergegeven), maar de helling van het verdere deel van de karakteristiek is zeer verschillend (vgl. fig. 6*c* met fig. 6*b*, waarbij de stroomschalen niet gelijk zijn).

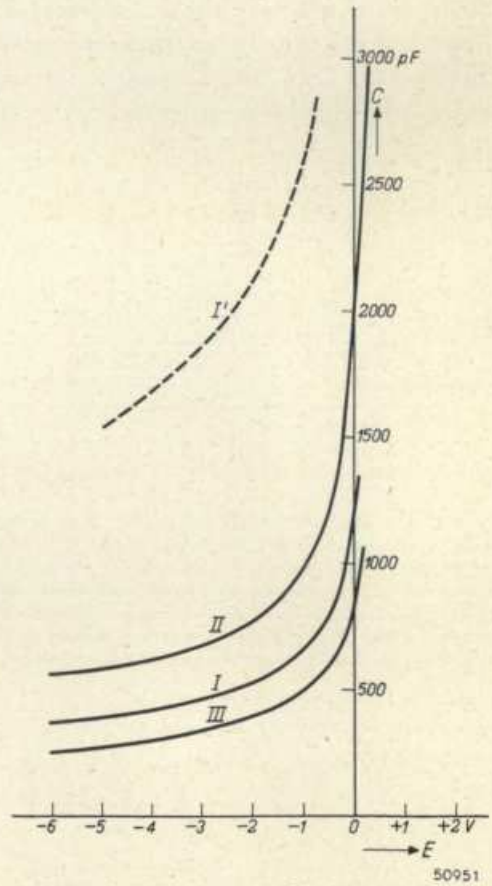

Fig. 8. Volgens de schakeling van fig. 3 gemeten capaciteit C als functie van de aangelegde gelijkspanning E, voor de ventielen I, II en III. De kromme I' is verkregen door de ordinaten van I met 4 te vermenigvuldigen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Eveneens zal men bij ventielen van soort III een kleinere capaciteit verwachten dan bij die van soort II. Dit wordt door de metingen bevestigd (zie fig. 8, kromme *III* in vergelijking met *II*).

Ventielen van soort III zijn in een reeks afmetingen genormaliseerd, lopende van 7 mm² tot 14 000 mm² werkzaam oppervlak [3]).

Soort I

Als laatste komt nu de soort I nog ter sprake, welke in bouw en eigenschappen aanzienlijk van II en III verschilt. Het doel bij de ontwikkeling van deze soort was dan ook anders, namelijk het verkrijgen van een zo gunstig mogelijke karakteristiek in de doorlaatrichting. Met succes is hierbij gebruik gemaakt van een als kathode fungerend metaal dat met selenium een geleidende verbinding aangaat. Het smeltpunt van het bedoelde metaal is echter veel hoger dan dat van selenium, zodat de kathodelaag hier niet op de wijze van de boven vermelde legering in vloeibare vorm mag worden aangebracht. Wel bleek het mogelijk, door verstuiving een laagje van het metaal neer te slaan, doch nu deed zich het probleem voor, er goed electrisch contact mee te maken. Een contactveer is op den duur niet betrouwbaar. Solderen aan het zeer dunne laagje is uitgesloten. Gebruik van soldeer over het metaal heen zou bovendien tot reacties leiden die in dit geval ongewenst zijn, daar als gevolg van deze reacties de gunstige eigenschappen in de doorlaatrichting verloren zouden gaan. Deze moeilijkheid kon op de in *fig. 9* geschetste wijze worden opgelost. Nadat een laagje metaal met een diameter van ca 1,5 mm door opdampen is aangebracht (waarom deze middellijn zo klein is gekozen, zal aanstonds blijken), wordt het gehele plaatje (diameter 6 mm) met een dunne laag van een geschikte laksoort bedekt. Vervolgens komt daarop in het midden een laag van de bovengenoemde Sn-Cd-Bi-legering, waarmee de toevoerdraad gesoldeerd kan worden. Door de poriën van de lak dringt voldoende legering heen om op een aantal plaatsen goed en duurzaam electrisch contact met de opgedampte laag metaal te maken. Op deze plaatsen zal wel, door de zeer dunne kathodelaag heen, enige reactie tussen selenium en soldeer tot stand komen (vorming van de hier ongewenste Cd-Se-verbinding); dit geschiedt dan echter op een zo kleine fractie van het werkzame oppervlak dat de karakteristiek van het ventiel er nauwelijks invloed van ondervindt.

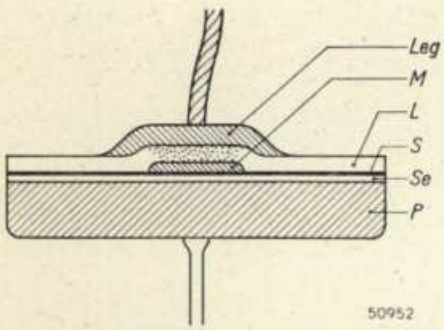

Fig. 9. Doorsnede van een cel van de soort I. *P* = draagplaat, *Se* = laag selenium, *S* = genetische sperlaag, *M* = door opdamping verkregen kathode, *L* = lak, *Leg* = legering, die als soldeer voor de toevoerdraad dient. De lak laat voldoende van de legering door om een goed electrisch contact te waarborgen; de schadelijke Cd-Se-verbinding wordt slechts op een zeer klein gedeelte van het werkzame oppervlak gevormd.

De aan zulk een ventiel gemeten karakteristieken voor de doorlaatrichting zijn te zien in fig. 5*a* en 6*a* (de kleine stroomschaal geldt voor een cel met 1,5 mm middellijn van de kathodelaag, waarmee de metingen werden uitgevoerd, de grote stroomschaal geldt voor een vier maal zoo groot oppervlak en is toegevoegd om vergelijking met de figuren 5*b* en *c* en 6*b* en *c* te vergemakkelijken, die betrekking hebben op ventielen met 3 mm middellijn). Men ziet dat de drempelspanning minder dan half zo groot is als bij de ventielen van soort II en III, en dat het verdere gedeelte van de karakteristiek veel steiler loopt.

Uit fig. 7*a* is te zien dat de ventielen van soort I in de sperrichting minder spanning kunnen verdragen dan de andere, doch dit is voor toepassingen waarbij de spanning op het ventiel niet hoger dan enkele volts wordt, niet van belang. Ernstiger is, dat de capaciteit (genomen voor eenzelfde oppervlak) veel hoger is dan bij de ventielen II en III (zie kromme *I'* in fig. 8). Dit is dan ook een van de redenen waarom de middellijn van 3 tot 1,5—1,2 mm is teruggebracht; de capaciteit wordt dan minstens vier maal zo klein (kromme *I*, fig. 8) [4]). Dat bij een gegeven stroomsterkte de stroomdichtheid in de doorlaatrichting dan vier maal zo groot wordt, heeft ten gevolge dat het ventiel in een minder gekromd gedeelte van de karakteristiek komt te werken; voor sommige toepassingen is dit een belangrijk voordeel (het vermogen hierbij in het spel is zo gering dat de warmte-afvoer — bij grote gelijkrichters een der voornaamste factoren die de toelaatbare stroomdichtheid beperken — geheel buiten beschouwing kan blijven).

[3]) De seleniumventielen, besproken in het artikel dat in noot [2]) werd aangehaald, zijn van de soort III.

[4]) De laag lak is zo dik in vergelijking met de sperlaag, dat de capaciteit tussen de overstekende rand van de legering en het selenium kan worden verwaarloosd ten opzichte van de capaciteit tussen de kathodelaag en het selenium.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 10 laat seleniumventielen zien in verschillende stadia van afwerking en op verschillende wijzen gemonteerd.

Toepassingen van kleine seleniumventielen

De voornaamste toepassingen van kleine seleniumventielen laten zich in drie rubrieken onderbrengen:

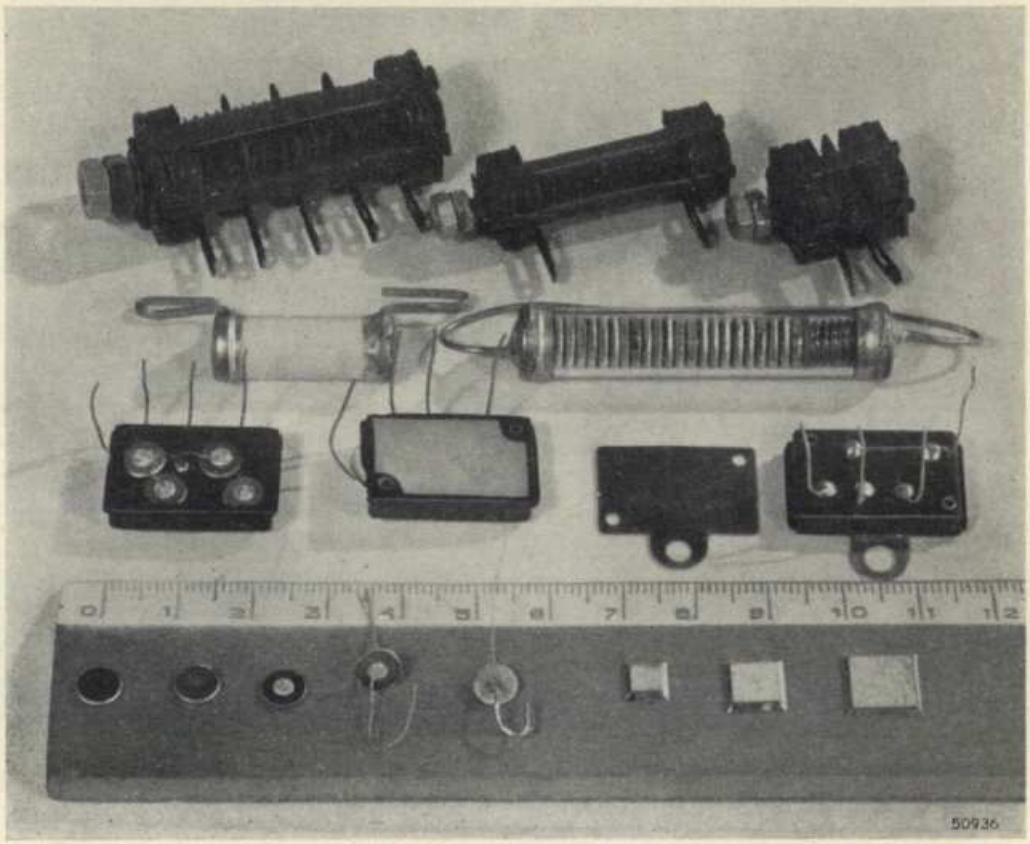

Fig. 10. Enige losse en gemonteerde seleniumventielen. Van links naar rechts ziet men:
(*voorste rij*) vijf ventielen van soort I in verschillende stadia (resp. zonder kathodelaag, met kathodelaag, met lak en legering, met toevoerdraden) en drie vierkante cellen van soort III;
(*tweede rij*) vier voor een voltmeter bestemde ventielen in Grätz-schakeling, geplaatst in een doosje van „Philite"; het doosje volgegoten met isolatiemateriaal; de dekplaat er van; de volledige gelijkrichter;
(*derde rij*) een hermetisch gesloten keramisch buisje, dat een modulatorcel bevat; een glazen buisje met 25 in serie geschakelde ventielen (laboratorium-uitvoering, o.a. tijdens de oorlog veel gebruikt in clandestiene radio-ontvangers);
(*vierde rij*) drie op verschillende wijzen geschakelde eenheden met vierkante ventielen.

1) in electrische meetinstrumenten,
2) in modulatoren in draaggolf-apparatuur,
3) in „kleine gelijkrichters".

1) *Seleniumventielen in electrische meetinstrumenten*

De toepassingen in meetinstrumenten liggen op geheel verschillende terreinen. In de eerste plaats gebruikt men vaak sperlaagventielen om een te meten wisselstroom in een pulserende gelijkstroom om te zetten, waarvan men met behulp van een draaispoelinstrument de gemiddelde waarde meet. De voornaamste voordelen van deze methode zijn: een zeer gering stroomverbruik van de meter (in vergelijking met de meeste andere meetmethoden), en een min of meer lineaire schaal. Een ander toepassingsgebied omvat het gebruik van sperlaagventielen als shunt van een meetinstrument, bijv. om dit tegen overbelasting te beschermen. Beide gebieden zullen we hier in het kort bespreken; wat het eerstgenoemde gebied betreft, zullen we ons beperken tot voltmeters.

De schakeling van een wisselspanningsmeter met gelijkrichting is weergegeven in *fig. 11a*. Het draaispoelinstrument is verbonden met de gelijkstroomklemmen van een viertal volgens Grätz geschakelde ventielen. De te meten wisselspanning wordt

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

aangesloten op de serieschakeling van een voorschakelweerstand en de beide andere klemmen van de Grätz-schakeling.

Waren de ventielen vrij van capaciteit, dan zou de uitslag onafhankelijk van de frequentie zijn. Het meetinstrument zou dan de gemiddelde waarde

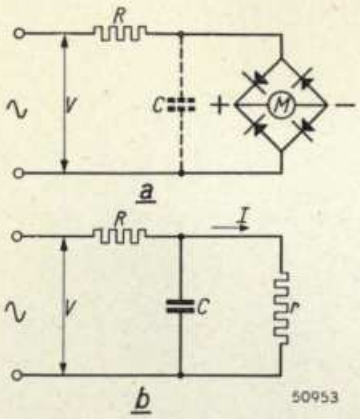

Fig. 11. *a*) Schakeling voor het meten van wisselspanningen met behulp van een draaispoelmeter M, een Grätz-schakeling van vier ventielen en een voorschakelweerstand R. Door de gestippeld getekende capaciteit C kan de capaciteit der ventielen in rekening worden gebracht.
b) Vervangingsschema, waarin r de weerstand van de meter en van twee in serie geschakelde ventielen voorstelt. V = te meten wisselspanning, I = stroom waarvan de gemiddelde waarde wordt gemeten.

van de wisselstroom I_0 aanwijzen, gegeven door $I_0 = V/(R + r)$, waarin V de te meten wisselspanning voorstelt, R de voorschakelweerstand en r de som van de weerstand r_m van het instrument en van tweemaal de doorlaatweerstand r_d van een ventiel (tweemaal, daar de stroom steeds twee ventielen in serie doorloopt). De ventielen bezitten echter in werkelijkheid wel capaciteit. Dit feit kan men in rekening brengen door de in fig. 11*a* gestippeld getekende capaciteit C in aanmerking te nemen. De wisselstroom I die nu aan de Grätz-schakeling wordt toegevoerd, verschilt van de stroom I_0, die men wenst te meten. Uit het vervangingsschema fig. 11*b* volgt, na een kleine berekening:

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega Cr}{1 + \frac{r}{R}}\right)^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Beschouwen wij eerst het geval waarin de voorschakelweerstand R groot is ten opzichte van r (dit zal zo zijn bij meters voor niet te lage spanningen; een meter voor 50 V bijv., die de volle uitslag geeft bij een stroom van 1 mA, heeft reeds R = ca 50 000 ohm, terwijl r = ca 1000 ohm). Is nu bovendien $\omega Cr \ll 1$, dan kan men voor (1) bij benadering schrijven:

$$I \approx I_0 \{1 - \tfrac{1}{2}(\omega Cr)^2\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Met r weer 1000 ohm en C = 1000 pF vindt men, voor de frequentie 50 per/sec, $\omega Cr \approx 3 \cdot 10^{-4}$, zodat daarbij de „frequentiefout" $\frac{1}{2}(\omega Cr)^2$ slechts ca $5 \cdot 10^{-8}$, dus $5 \cdot 10^{-6}$% bedraagt. Voor de frequentie 50 000 per/sec echter is $\omega Cr \approx 0{,}3$, wat overeenkomt met een miswijzing van ca 5%. Teneinde in een zo groot mogelijk frequentiegebied de fout beneden een bepaalde waarde te houden, moet men dus Cr zo klein mogelijk maken. Nu is C evenredig met het werkzame oppervlak van het ventiel; het ligt dus voor de hand dit oppervlak klein te kiezen. Weliswaar gaat dit gepaard met een hogere waarde van r, maar r neemt bij verkleining van het oppervlak veel minder dan evenredig toe, in de eerste plaats doordat $r = r_m + 2r_d$ deels uit de onveranderde weerstand r_m van de draaispoelmeter bestaat, en voorts doordat de ventielweerstand r_d minder snel toeneemt dan men zou verwachten. Dit laatste hangt samen met de kromming van de karakteristiek, welke kromming afneemt naarmate de stroomdichtheid wordt opgevoerd. In *fig. 12* is verduidelijkt dat bij halvering van het werkzame oppervlak van een ventiel het spanningsverlies, bij dezelfde stroom, minder dan een factor 2 toeneemt.

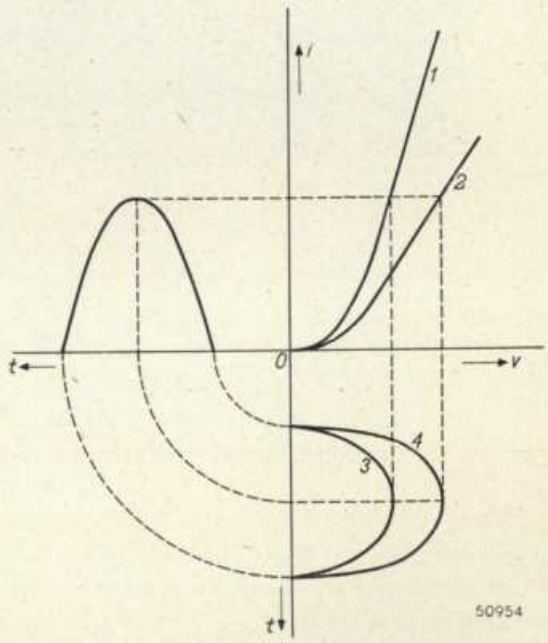

Fig. 12. (*1*) en (*2*) zijn karakteristieken van de stroom i in de doorlaatrichting als functie van de spanning v van twee gelijksoortige ventielen welker werkzame oppervlakken zich verhouden als 2 : 1. Het spanningsverlies in de ventielen, bij doorgang van eenzelfde stroom i, die links als functie van de tijd t is voorgesteld, wordt gegeven door de krommen (*3*) resp. (*4*). De amplitude van (*4*) is minder dan tweemaal zo groot als die van (*3*).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De verhouding van de ogenblikswaarden van spanningsverlies en stroom is niet constant; met r_d is een gemiddelde waarde van deze verhouding bedoeld. Het is dus duidelijk dat r_d, bij gegeven ventielen, van de stroomamplitude zal afhangen.

Dit brengt ons op de afwijkingen van de lineariteit van de schaal, welke vooral op de voorgrond treedt bij voltmeters voor lage spanningen, waar niet meer geldt: $R \gg r_m + 2r_d$, zodat het niet-lineair zijn van r_d van invloed wordt. Ook hier is het derhalve van belang, de stroomdichtheid groot te kiezen, dus kleine ventielen te gebruiken [5]).

Dit verklaart waarom de diameter van de ventielen van soort I — die in het bijzonder voor de combinatie met draaispoelmeters zijn ontwikkeld — op slechts 1,2 mm is vastgesteld.

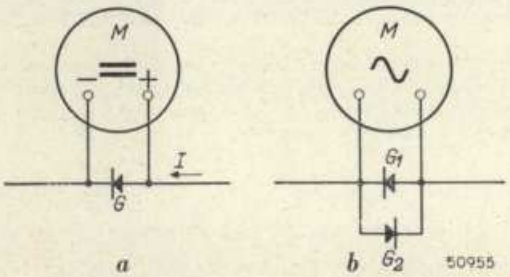

Fig. 13. *a*) Gelijkstroommeter *M*, beveiligd tegen overbelasting door het parallelgeschakelde ventiel *G*.
b) Voor het beschermen van wisselstroommeters past men twee antiparallelgeschakelde ventielen (G_1, G_2) toe.

Voor wij van de toepassing van seleniumventielen bij meters afstappen, zij nog even ingegaan op meterbeveiliging bij overbelasting. Aan een draaispoelinstrument zij een ventiel op de in *fig. 13a* aangegeven wijze parallelgeschakeld. De meter en het ventiel zijn zo gedimensionneerd dat het spanningsverlies dat er bij volle uitslag in optreedt, onder de drempelspanning van het ventiel ligt. De weerstand van het ventiel is dan veel hoger dan die van de meter, zodat het aanbrengen van het ventiel geen invloed op de uitslag van de meter heeft. Indien nu de totale stroom *I* (fig. 13*a*) zodanig toeneemt dat bij afwezigheid van het ventiel de meter zou worden beschadigd, dan is, bij parallelgeschakeld ventiel, dit gevaar aanzienlijk kleiner. Bij voldoend hoge spanning namelijk daalt de weerstand van het ventiel tot een fractie van de meterweerstand, zodat slechts een klein gedeelte van de totale stroom door de meter gaat. Een normaal type meter voor 0,1 mA bijv. heeft 1500 ohm, zodat voor de volle uitslag 0,15 V nodig is. Hierbij is de weerstand van het ventiel ca 0,5 Mohm, dus ruim 300 maal zo hoog als de meterweerstand. Bij de zesvoudige stroom door de meter — hetgeen deze wel enige tijd kan verdragen — wordt de spanning 0,9 V, waarbij, zoals uit de karakteristiek van het ventiel volgt, ruim 9 mA door het ventiel vloeit en de totale stroom dus ca 10 mA bedraagt, dwz. het honderdvoudige van de nominale waarde.

Voor het beveiligen van wisselstroommeters past men twee ventielen in antiparallelschakeling toe (fig. 13*b*).

Een enigszins analoge toepassing van seleniumventielen waarbij van de vorm der sperkarakteristiek wordt gebruik gemaakt om een lineaire decibelschaal op een meetinstrument te verkrijgen, is vroeger reeds in dit tijdschrift besproken [6]).

2) *Seleniumventielen in modulatoren*

In de draaggolftelefonie heeft men schakelelementen met een niet-lineaire karakteristiek nodig, zowel aan de zendzijde, om de laagfrequente spraaktrillingen op een der draaggolven te moduleren, als aan de ontvangzijde voor het omgekeerde proces. Zoals destijds in dit tijdschrift werd beschreven [7]), kunnen voor dit doel seleniumventielen worden gebruikt, bijv. in de zogenaamde dubbele balansschakeling (*fig. 14*).

Wij brengen in herinnering dat aan de uitgang van deze schakeling bepaalde ongewenste componenten (o.a. die met de draaggolffrequentie zelf) ontbreken, die bij andere schakelingen wel optreden. Voorwaarde hiervoor is echter dat de vier in zulk een modulator gebruikte ventielen dezelfde karakteristiek en gelijke capaciteit bezitten. Met ventielen van het type I kan beter aan deze eis worden

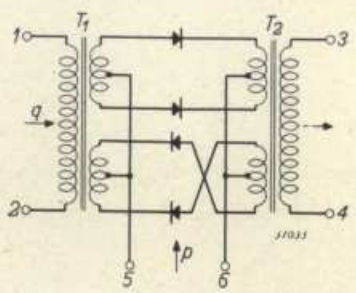

Fig. 14. Modulator in dubbele balansschakeling. Aan de klemmen *1* en *2* wordt spanning met de spraakfrequenties *q* toegevoerd, aan de klemmen *5* en *6* spanning met de draaggolffrequentie *p*. Aan de klemmen *3* en *4* wordt de gemoduleerde spanning afgenomen.

[5]) Hieruit volgt dat eenzelfde meter bij de volle uitslag een geringere frequentiefout zal vertonen dan bij een kleinere uitslag. Wat voorts de invloed van de frequentie bij meters voor lage spanningen betreft, deze wordt geringer naarmate R kleiner is ten opzichte van r, hetgeen zowel uit fig. 11 als uit formule (1) gemakkelijk is te zien.

[6]) F. de Fremery en J. W. G. Wenke, Het meten van piekspanningen in een studio-installatie, Philips techn. T. 7, 20-23, 1942.

[7]) F. A. de Groot en P. J. den Haan, Modulatoren voor draaggolftelefonie, Philips techn. T. 7, 83-91, 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voldaan dan met de oorspronkelijk voor dit doel gebruikte ventielen type II. Bovendien hebben de eerstgenoemde het voordeel van een lagere drempelspanning en een geringere differentiaalweerstand in de doorlaatrichting, zodat men met een kleiner draaggolfvermogen kan volstaan. In de derde plaats betekent het type I een verbetering doordat de karakteristiek bij spanningen boven de drempelwaarde minder gekromd is; hierdoor is de uitgangsspanning van de modulator minder afhankelijk van schommelingen in de draaggolfamplitude.

Ook cellen van het type III vinden toepassing als modulatorcel, en wel daar waar grotere spanningen gewenst zijn dan de andere typen kunnen verdragen. Dit is het geval bij de modulator in de zogenaamde signaalontvanger. Deze is een onderdeel van de signalering bij de draaggolftelefonie [8]).

3) *Seleniumventielen in kleine gelijkrichters*

Wij willen dit overzicht niet besluiten zonder althans te herinneren aan een belangrijk maar slechts vaag te omschrijven terrein van toepassingen van kleine seleniumventielen. Wij bedoelen dat gebied waar de door gelijkrichting verkregen spanning dient voor bijv. het bekrachtigen van een relais, of als rooster- of anodespanning van een versterkbuis. Een scherpe grens met de voedings- en laadgelijkrichters, besproken in een der reeds aangehaalde artikelen (zie noot [2])), is uiteraard niet aan te geven. De bedoelde toepassingen zijn min of meer incidenteel. Verscheidene er van kwamen terloops reeds hier en daar in dit tijdschrift ter sprake; herinnerd zij bijv. aan de in *fig. 15* afgebeelde cascadeschakeling, welke, zonder transformator, 220 V wisselspanning omzet in

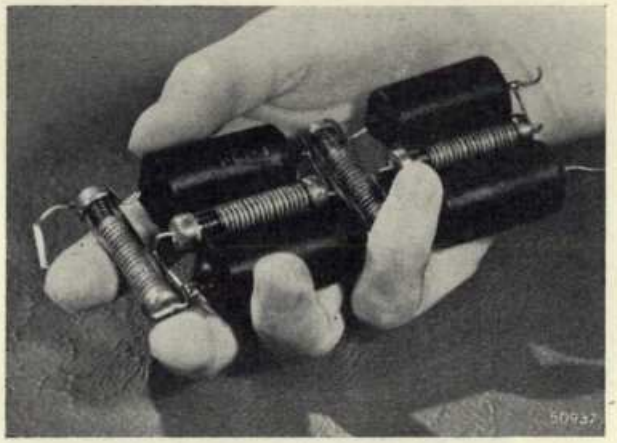

Fig. 15. Cascadeschakeling bestaande uit vier buisjes met elk ca 25 in serie geschakelde seleniumventielen, en vier condensatoren. Hiermee wordt uit 220 V wisselspanning een gelijkspanning van 1200 V verkregen.

1200 V gelijkspanning [9]), en aan de gelijkrichter voor het leveren van de anodespanning in radio-ontvangers met uiterst kleine afmetingen [10]).

Waar het spanningen van tientallen volt of meer betreft, zal in het algemeen het gebruik van ventielen met een kunstmatige sperlaag — type III dus — aangewezen zijn, daar zij in de sperrichting hogere spanningen verdragen dan de andere typen, zodat men er minder van nodig heeft.

[8]) Onder signalering bij een telefoonverbinding verstaat men de apparatuur die nodig is voor het opwekken en overbrengen van signalen voor het wekken, kiezen, enz.; zie F. A. de Groot, De signaleering bij draaggolftelefonie, Philips techn. T. **8**, 168-176, 1946 (No. 6).

[9]) Philips techn. T. **6**, 78, 1941.

[10]) Philips techn. T. **8**, 338 (fig. 3), 1946 (No. 11).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

SPANNINGEN EN SPANNINGSONDERZOEK BIJ GLAS

door A. A. PADMOS en J. de VRIES. 666.115:539.319

Bij de fabricage van glazen voorwerpen is het gewoonlijk noodzakelijk de glasmassa door verhitting vloeibaar te maken en dan later de gevormde voorwerpen te laten afkoelen. Daarbij zullen er dikwijls spanningen ontstaan, die tot springen aanleiding kunnen geven. Dat is evenzeer het geval bij het aaneensmelten van glazen onderdelen of van glas aan metaal, wanneer de uitzettingscoëfficienten der samenstellende delen belangrijk verschillen. Het constateren en meten van spanningen bij glazen voorwerpen kan het beste geschieden door een onderzoek naar de daardoor opgewekte dubbele breking. Gewoonlijk geschiedt dit met behulp van gekruiste nicols zoals deze ook gebruikt worden bij de bestudering van de optische eigenschappen van kristalplaatjes. Van meer belang is het, indien vooraf onderzocht wordt of de eigenschappen der materialen zodanig zijn, dat zij zonder bezwaar aan elkaar gesmolten kunnen worden. In de Philips-fabrieken is een methode in gebruik, waarbij plaatjes van het te verwerken glas of metaal aan een standaardglas gesmolten worden en daarna uit de opgewekte dubbele breking afgeleid wordt hoe groot de optredende spanning is, waaruit dan kan worden geconcludeerd, of het onderzochte materiaal voor verwerking geschikt is.

De duurzaamheid van een glazen voorwerp wordt in hoge mate bepaald door het in mindere of meerdere mate aanwezig zijn van spanningen in het glas. Deze spanningen zijn permanent in het glaslichaam werkende krachten, die het op de ene plaats in elkaar trachten te drukken en het elders uit elkaar proberen te trekken. Wanneer een dergelijk, aan spanningen onderhevig voorwerp een invloed ondergaat van uitwendige krachten (bijv. een mechanische druk of trekkracht, of ook een plotselinge temperatuurwisseling, waarbij steeds uitzetting of krimp optreedt), dan zullen deze krachten eerder tot breken of springen aanleiding geven, wanneer tevoren reeds inwendige spanningen werkzaam waren, dan wanneer dit niet het geval was.

Bij de vervaardiging van artikelen die geheel of gedeeltelijk uit glas bestaan, is het daarom van groot belang zich kennis te kunnen verschaffen omtrent de in deze producten aanwezige spanningen en de grootte daarvan.

In dit artikel willen we eerst een beeld geven van enkele oorzaken die in glas spanningen doen ontstaan, vervolgens zullen we de methode bespreken waarmede de aanwezigheid van spanningen het best kan worden onderzocht, om ten slotte aan te geven, hoe door systematisch materiaalonderzoek schadelijke spanningen in de eindproducten voorkomen kunnen worden.

Het ontstaan van spanningen

Glas gedraagt zich bij kamertemperatuur en normale belasting als een elastische vaste stof, dat wil zeggen dat het glas, zodra een kracht die er op werkte, ophoudt, zijn oorspronkelijke vorm geheel herneemt. Bij voldoend hoge temperatuur is deze vervorming nagenoeg niet elastisch meer. Deze temperatuur is voor verschillende glassoorten zeer verschillend; zij ligt in het algemeen tussen 300 en 1300 °C, maar voor de meest voorkomende, voor „gewone" soorten glas, tussen 350 en 500 °C. Dit betekent, dat bij deze temperatuur een min of meer kneedbare massa ontstaat, die bij hogere temperatuur steeds gemakkelijker te vervormen is, bij nog verdere temperatuurstijging stroperig wordt en ten slotte dun vloeibaar. We hebben hier dus te doen met een continue overgang van vast naar vloeibaar, in tegenstelling met wat we aantreffen bij smeltend ijs of smeltende metalen, in het algemeen bij kristallijne stoffen, waarbij discontinuïteit in de overgang te constateren valt.

De vormgeving van glas berust in vele gevallen op deze eigenschap. Wanneer glas geblazen wordt, blaast men uit een massa visqueus glas, dat aan een holle pijp bevestigd is, een of ander hol voorwerp, dat in de daarbij verkregen vorm verstart. Bij het trekken van glas wordt uit een tevoren geblazen, min of meer cylindervormige holle glasmassa een dikwijls tientallen meters lange buis gevormd die gedurende dit trekprocédé steeds verder afkoelt en vaster wordt, totdat de massa ten slotte tot een glazen buis is gestold. Als men glas perst, wordt een visqueuze glasmassa in een vorm gebracht en zorgt men, dat deze de gedaante krijgt, waarvan de persvorm het negatief is. Nadat de glasmassa is afgekoeld tot een temperatuur waarbij geen plastische vervorming kan optreden, wordt het voorwerp (bijv. een citroenpers of een drinkglas) uit de vorm verwijderd, waarna de vormgeving voltooid is.

De hier beschreven methoden, die voor glas specifiek zijn en die mogelijk zijn door de continue overgang van vast naar vloeibaar en omgekeerd,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

werken het ontstaan van spanningen zeer in de hand. Wanneer we een min of meer visqueuze glasmassa afkoelen, dan gaat dit uiteraard gepaard met een temperatuurverval van binnen naar buiten. Dit wordt bovendien bevorderd door de slechte warmtegeleiding, die ruwweg gesproken slechts 0,01 tot 0,002 bedraagt van de warmtegeleiding van vele metalen. Dit temperatuurverval is des te groter naarmate we sneller afkoelen. Het oppervlak van de massa bereikt de toestand waarin het glas niet anders dan elastisch vervormbaar is, eerder dan de meer naar binnen gelegen gedeelten. Zijn deze laatste bij verdere afkoeling ook vast geworden, dan begint zich een spanningstoestand op te bouwen, daar het glas aan de oppervlakte dan inmiddels al weer een lagere temperatuur gekregen heeft. De krimp die de buitenste laag bij afkoeling naar de kamertemperatuur ondergaat, beantwoordt dan nl. niet aan die, welke de zich op hogere temperatuur bevindende binnengedeelten vertonen. Daarom moet het afkoelen van glazen voorwerpen na de vormgeving in vele gevallen uiterst zorgvuldig gebeuren. Veelal geschiedt dit in daartoe geconstrueerde, speciale zg. koelovens. Hoe dikker de glasmassa is, des te langzamer moet de koeling plaats vinden. De doelmatigheid van zulk een koeling is alleen achteraf door spanningsonderzoek te constateren. Blijkt de spanning toch nog groot te zijn, dan moet hernieuwde verwarming met daaropvolgende, nog voorzichtiger koeling tot de gewenste spanningsloze toestand voeren.

Een andere oorzaak voor het ontstaan van spanningen vindt men bij het aan elkaar smelten van glazen onderdelen of van glas aan metaal. Bij het blazen van laboratoriumglaswerk bijv. en bij de fabricatie van gloeilampen, gasontladingslampen, radio-ontvang- en zendbuizen etc. komen deze bewerkingen veelvuldig voor. Om daar een voorbeeld van te geven is in *fig. 1* de wijze waarop een gloeilamp vervaardigd wordt, voorgesteld. Het „roefelen" van een flens aan het buisje (het ombuigen van de rand) het vormen van de kneep, het vastsmelten van het staafje hierop, enz. zijn onderdelen van het fabricageproces, waarbij spanningen in het glas ontstaan. In *fig. 2* is een zendbuis afgebeeld om er aan te herinneren, dat bij dergelijke fabricaten vaak metalen doppen voorkomen, die vacuumdicht aan het glas gesmolten moeten worden.

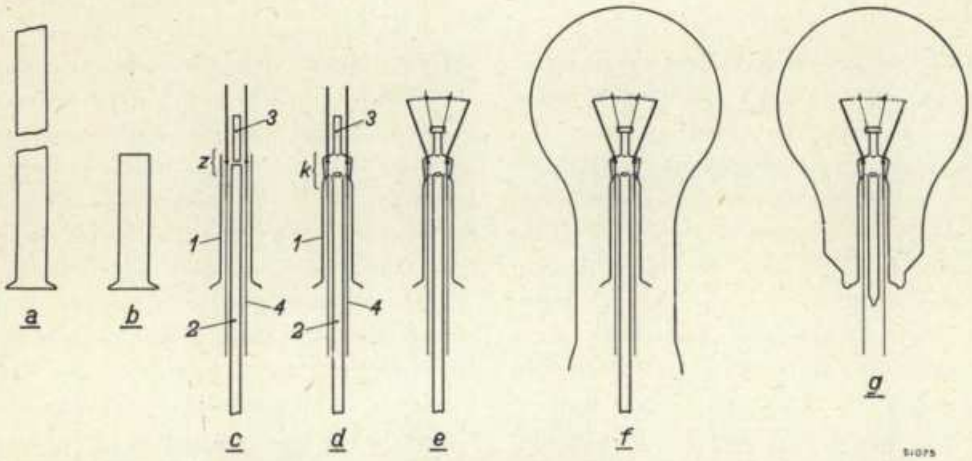

Fig. 1. Enige stadia van de fabricage van het binnenwerk van een electrische gloeilamp. *a*) Aan het ondereinde van een glazen buis is door verhitting een conische uitbuiging (roefel) aangebracht. *b*) De roefel na het afsnijden. *c*) Het aggregaat dat het brugje zal moeten vormen; hierin zijn *1* de roefel, *2* de pompstengel, *3* het glazen staafje, *4* de toevoerdraden. Verhitting van de zône *z* en knijpen van de weke, naar binnen gevallen glasmassa tussen twee parallelle metalen bekken vormt de kneep *k* van het brugje, zoals *d* aangeeft. *e*) Het stel is compleet. *f*) Het stel wordt in een ballon gebracht. *g*) De lamp is voltooid doordat het stel in de ballon is ingesmolten.

In al deze gevallen is het nodig, dat de thermische uitzetting, of liever de krimp, van de aaneen te smelten materialen een bepaald maximaal verschil niet overschrijdt. Wordt aan deze voorwaarde niet voldaan, dan zal bij afkoeling het verschil in krimp noodzakelijkerwijze tot grote spanningen voeren, die breuk ten gevolge hebben of het voorwerp uiterst gevoelig maken voor temperatuurwisselingen. Door een kwantitatief onderzoek van de ontstane spanningen kunnen we ons een beeld van de krimpverschillen vormen. Maar het is, zoals in het vervolg van dit artikel zal blijken, ook mogelijk, dat we ons door spanningsonderzoek, vooraf aan de materialen, een opinie vormen over hun bruikbaarheid in dit opzicht.

Bij de tot hiertoe gegeven beschrijving van enige oorzaken die spanningen ten gevolge hebben,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gingen we er van uit, dat het de bedoeling is deze spanningen zoveel mogelijk te elimineren. Dit laatste is echter niet altijd het geval. Zowel in de lampen- en buizenindustrie als bij de fabricage van andere producten tracht men soms opzettelijk

Fig. 2. Een zendbuis. Verschillende metalen doppen zijn vacuumdicht aan het glas gesmolten. Aan de onderzijde is de zg. „kan" door een chroomijzeren tussenstuk aan het glas bevestigd.

bepaalde spanningen aan te brengen, met het doel een versterking in plaats van een verzwakking teweeg te brengen. Een illustratief voorbeeld daarvan is het zg. onbreekbare glas („toughened glass") dat voor ruiten van auto's wordt gebruikt. Bij deze glassoort zijn de beide oppervlaktelagen van de ruit met behulp van een speciale koelmethode in een sterke drukspanning gebracht, terwijl de binnenste zône zich dan in trekspanning daartussen bevindt. Het doel van deze bewerking is, het glas sterk te maken tegen stoten van buiten af. Wanneer men tegen een ruit een stoot geeft, dan brengt men altijd wel ergens een deel van het oppervlak (bijv. de van de stoot afgekeerde zijde) in trekspanning. Kleine onregelmatigheden in het oppervlak (krasjes en derg.), die altijd aanwezig zijn, werken dan als cumulatiecentra voor deze trekspanning en kunnen zo breuk veroorzaken. Indien echter de oppervlaktelagen vooraf in drukspanning gebracht zijn, moet de spanning daar eerst de nulwaarde passeren voordat zij gevaar oplevert en de bedoelde onregelmatigheden als breukcentra gaan werken. En de trekspanningszône binnenin bezit geen oppervlak met krasjes, zodat deze in eerste instantie niet medewerkt aan het tot stand komen van een eventuele breuk. Het laat zich begrijpen, dat met dit procédé een grote versteviging van de ruit bereikt wordt. De sterke spanningstoestand die hierbij ontstaat, heeft bovendien het voordeel, dat de gehele ruit, indien het glas eenmaal breekt, in honderden stukjes (ter grootte van enige millimeters) springt, die meestal aan elkaar blijven hangen, waardoor grote, gevaarlijke scherven uitgesloten zijn.

Om het fabricageprocédé van een dergelijke gespannen ruit goed te volgen en te controleren, is — evenals bij andere, hier aangehaalde voorbeelden — spanningsonderzoek een onmisbaar hulpmiddel.

We zullen nu eerst bespreken op welke wijze bestaande spanningen kunnen worden geconstateerd en met kleinere of grotere nauwkeurigheid gemeten.

Het constateren van spanningen bij glazen voorwerpen

Spanningen veroorzaken in glas dubbele breking. Hieronder verstaat men het verschijnsel, dat een lichtstraal die er op valt, gesplitst wordt in twee stralen lineair gepolariseerd licht. De trillingsvlakken van deze stralen, die als „gewone" en „buitengewone" onderscheiden worden, staan loodrecht op elkaar.

De dubbele breking is het eerst bij kristallen waargenomen en volgens verschillende methoden bestudeerd.

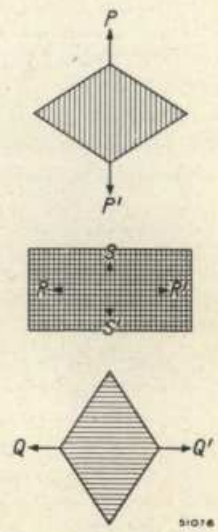

Fig. 3. Een kristalplaatje tussen gekruiste nicols. PP' en QQ' zijn de trillingsrichtingen die resp. de polarisator en de analysator doorlaten. RR' en SS' zijn de trillingsrichtingen die in het kristal mogelijk zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Dubbele breking bij kristallen

Om de dubbele breking van een kristalplaatje te onderzoeken brengt men dit gewoonlijk tussen twee gekruiste nicols. De ene nicol doet dienst als polarisator, de andere als analysator; de trillingen welke zij doorlaten, staan loodrecht op elkaar.

Vertoont een kristalplaatje geen dubbele breking, dan zal het tussen gekruiste nicols in geen enkele stand licht doorlaten. Is dit verschijnsel wel aanwezig, dan zal het licht dat de polarisator doorlaat, alleen dan in het kristal geen verandering ondergaan, wanneer de beide trillingsrichtingen RR' en SS' (*fig. 3*) die daarin mogelijk zijn, samenvallen met de trillingsrichtingen PP' en QQ' der beide nicols.

Indien de trillingsrichtingen van het kristal een hoek maken met die van de nicols, zal de uit de polarisator tredende lichtbundel ontbonden worden in twee bundels, waarvan de trillingsrichtingen Or en Os (*fig. 4*) overeenstemmen met die

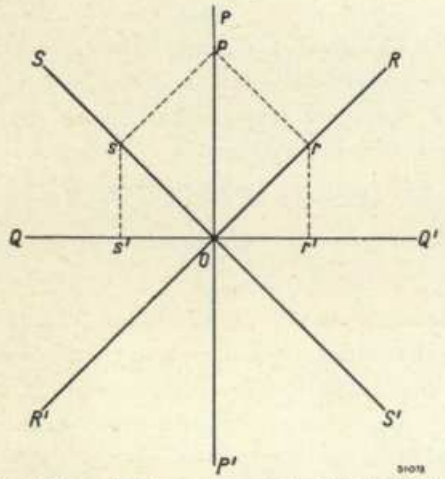

Fig. 4. De trillingsrichtingen van het kristal (RR' en SS') maken een hoek met die der nicols (PP' en QQ'). Van een trilling Op die de polarisator gepasseerd is, laat de anlysator de componenten Or' en Os' door. Deze zullen interfereren.

van het kristal. Van een bepaalde trilling Op, die de polarisator gepasseerd is, zal de analysator in dit geval de componenten Or' en Os' doorlaten. Daar de bundels Or' en Os' cohaerent zijn, zullen ze interfereren. Ten gevolge van de dubbele breking zijn echter de snelheden, waarmede de trillingen Or en Os zich langs de beide stralen in het kristal voortplanten, verschillend. Daardoor verkrijgt de ene straal ten opzichte van de andere een achterstand of „gangverschil" δ, waarvoor geldt

$$\delta = d\,(n_2 - n_1),$$

waarbij d de dikte van het kristalplaatje en n_2 en n_1 de brekingsindices van het kristal voor de beide stralen voorstellen.

Indien $\delta = n\,\lambda$ (n = geheel getal en λ de golflengte van het opvallend licht), zullen de trillingen Or' en Os' elkaar verzwakken; voor $\delta = (2n-1)\,\lambda/2$ zullen zij elkaar versterken. De helderheid van het uittredende licht wordt maximaal, wanneer de trillingsrichtingen van het kristal hoeken van 45° maken met die der nicols. Indien men een dubbelbrekend kristal tussen gekruiste nicols over 360° draait, zal het gezichtsveld vier maal afwisselend helder en donker zijn.

Een kristalplaatje, waarvan de trillingsrichtingen een hoek met die van de nicols maken, zal bij gebruik van wit licht een helder gezichtsveld opleveren en een bepaalde kleur (interferentiekleur) vertonen, die ontstaat doordat de lichtsoorten waarvoor het gangverschil $\delta = n\lambda$ is, uitgedoofd zijn. Welke kleur het heeft, hangt van de dikte van het plaatje af. Wanneer deze van nul af geleidelijk toeneemt, wordt een gehele reeks interferentiekleuren waargenomen [1]). Deze worden in een aantal „orden" verdeeld.

Wanneer men, om na te gaan of er spanningen bestaan, een onderzoek instelt naar de aanwezigheid van dubbele breking bij glas, gebruikt men in hoofdzaak dezelfde methoden als bij de bestudering van kristalplaatjes.

Indien men met een preparaat met een zwakke dubbele breking te doen heeft, zal een der beginkleuren van de eerste orde, die men achtereenvolgens gewoonlijk met de namen ijzergrijs, lavendelgrijs en grijsblauw aanduidt, moeten optreden. Het is in dit geval moeilijk het verschil te zien met het zwarte gezichtsveld, dat met de afwezigheid van dubbele breking correspondeert. Men past dan vaak de kunstgreep toe, dat tussen de nicols eerst een plaatje met een flinke dubbele breking wordt aangebracht, dat een heldere interferentiekleur geeft. Wanneer daarna het te onderzoeken preparaat in de stralengang gebracht wordt, kan men uit de kleurverandering de aanwezigheid van de zwakke dubbele breking gemakkelijk constateren. Hiervoor wordt vaak een zg. „rood-plaatje" gebruikt. Dit is een uit kwarts of gips vervaardigd plaatje, zo gedimensionneerd, dat het een gangverschil van 530 mμ tussen de gewone en de buitengewone straal veroorzaakt. Wanneer het bij invallend wit licht tussen twee gekruiste nicols gebracht wordt, neemt men de interferentiekleur „rood van de eerste orde" waar. Dit is een verzadigde purperkleur, waarbij men veranderingen ten gevolge van dubbele breking bij het te onderzoeken voorwerp gemakkelijk waarneemt.

De glazen voorwerpen, waarvan de spanningstoestand in fabriekslaboratoria onderzocht moet worden, zijn gewoonlijk te groot om ze onder een polarisatiemicroscoop tussen gekruiste nicols te plaatsen. Men gebruikt dan dikwijls een zg. spanningskast (*fig. 5*). Hierbij doet een gloeilamp dienst als lichtbron. Een deel van het daardoor uitgestraalde licht valt op een glazen plaat en wordt bij een geschikte invalshoek gepolariseerd. De bundel gepolariseerd licht passeert eerst het te onderzoeken glazen voorwerp (bijv. een fles), vervolgens een rood-plaatje, dan een nicol (of een

[1]) Een aardig beeld van deze serie interferentiekleuren krijgt men door de berekende of experimenteel waargenomen kleuren af te beelden in een kleurendriehoek zoals J. A. Prins en J. J. M. Reesinck gedaan hebben, zie Physica 's Grav. **12**, 396-401, 1946 (No. 6).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

„Polaroid"-filter) om ten slotte via een oculair het oog van de waarnemer te bereiken.

Zolang geen glazen voorwerp in de stralengang geplaatst is, neemt men door het oculair de genoemde purperen interferentiekleur waar. Stel dat het te onderzoeken voorwerp een dubbele breking heeft, die een gangverschil van 100 mμ teweeg brengt.

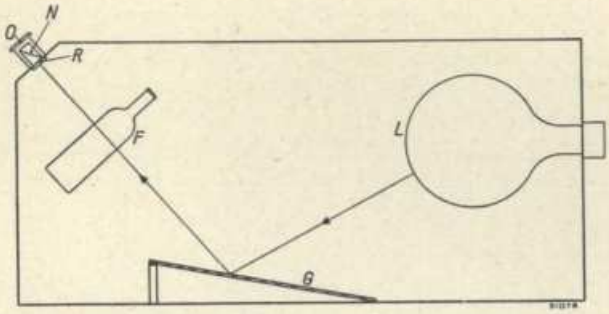

Fig. 5. Een spanningskast voor het constateren en meten van spanningen bij glazen voorwerpen. Het licht van de lichtbron *L* wordt met behulp van een glasplaat *G* gepolariseerd en passeert de te onderzoeken glazen fles *F*, een rood-plaatje *R* en een nicol *N*, om daarna via een oculair *O* het oog van de waarnemer te bereiken. Door de kleur van het gezichtsveld, voor en na het inbrengen van het glazen voorwerp, te vergelijken kan men de aanwezige spanningen onderzoeken.

Wanneer de straal met de grootste snelheid in het glas gelijke trillingsrichting heeft als die in het roodplaatje, resulteert een gangverschil van 630 mμ. Dit heeft ten gevolge dat licht met deze golflengte (het geel-rode) wordt uitgedoofd, zodat men de complementaire kleur, blauw, waarneemt. Is daarentegen de stand zo, dat de snelste straal in het glas dezelfde trillingsrichting heeft als de langzame in het plaatje, dan wordt bij dit voorbeeld licht met een golflengte van 430 mμ, dus het violette, uitgedoofd, waardoor een gele interferentiekleur ontstaat. Een sterkere of zwakkere dubbele breking geeft aanleiding tot andere kleureffecten. De geoefende waarnemer beoordeelt daarnaar, rekening houdend met de dikte van het glas, de aanwezige spanningen.

We hebben zoëven aangenomen, dat de polarisatievlakken van de beide lichtstralen in het glas parallel waren aan die van het plaatje. Wanneer dit niet het geval is, zien we minder intensieve kleureffecten. In de practijk zal men het te onderzoeken voorwerp in allerlei standen in de lichtstralen houden, totdat de stand gevonden is, waarbij de kleureffecten die waargenomen worden, maximaal zijn.

Wanneer men wil onderzoeken, of men trekspanning dan wel drukspanning waarneemt, dan is dat mogelijk door een preparaat met trekspanning (bijv. een gebogen glasplaatje) bovendien in de stralengang te brengen en na te gaan, of het effect der dubbele breking versterkt of verzwakt wordt.

Het meten van spanningen bij glas

Soms is men niet tevreden met een antwoord op de vraag, of de aanwezige spanningen al dan niet beneden een toelaatbaar maximum liggen. Men verlangt dan een kwantitatieve bepaling van de spanningen.

Deze kan worden uitgevoerd door een meting van de grootte der dubbele breking. Het gangverschil, uitgedrukt in mμ/cm, is daar een maat voor. En de grootte van de dubbele breking is evenredig met de mechanische spanning in het glas, waarbij de evenredigheidsconstante voor verschillende glassoorten verschillend is. Ter illustratie vermelden we, dat bij kalkglas een gangverschil van 265 mμ/cm correspondeert met een spanning van 1 kg/mm².

Bij zulk een kwantitatief onderzoek maakt men gebruik van een zg. compensator, die op de plaats komt van het rood-plaatje. Aan de gehele opstelling moet dan trouwens meer zorg besteed worden. Niet een glasplaat, maar een nicol of ook wel een „Polaroid"-filter gebruikt men dan als polarisator van het licht. In de regel bedient men zich in dit geval van een polarisatiemicroscoop met kleine vergroting. Men slijpt dan meestal aan het te onderzoeken voorwerp op de plaats die bekeken moet worden, planparallelle vlakken. Op deze wijze worden hinderlijke reflecties aan het oppervlak door schuin invallende stralen voorkomen en ook totale reflectie, die de lichtdoorgang zeer kan bemoeilijken. Tevens is het dan mogelijk de dikte van het glas nauwkeurig te bepalen. Verder dient men zich in dit geval rekenschap te geven van de orientering van de polarisatievlakken in het glas ten opzichte van die in de compensator.

Als een voorbeeld van zulk een compensator noemen we de compensator van Berek (*fig. 6*). Deze bevat een plaatje van kalkspaath, dat met een micrometerschroef scheef in de stralenbundel gebracht kan worden. De grootte van de dubbele

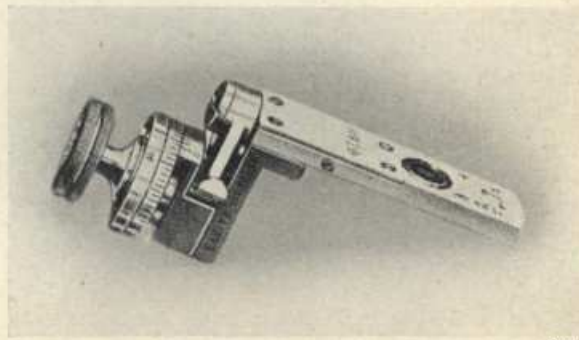

Fig. 6. Compensator volgens Berek. Hierbij wordt een plaatje van kalkspaath met een micrometerschroef scheef in de stralenbundel gebracht. Uit de aflezing van de schaalverdeling van de schroef wordt dan de grootte van de aldus opgewekte dubbele breking bepaald.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

breking die het veroorzaakt, wordt bepaald door de helling van het plaatje ten opzichte van de optische as van het microscoop. Met behulp van een bijgevoegde tabel kan men deze dubbele breking berekenen uit de aflezing van de schaalverdeling van de micrometerschroef. Deze tabel kan worden verkregen door bijv. metingen te verrichten aan een preparaat met bekende dubbele breking. Bij deze compensator is de dubbele breking van het te onderzoeken voorwerp gecompenseerd, wanneer het oculair op de plaats die men onderzoeken wil, een donker gezichtsveld te zien geeft.

De hier beschreven methoden vinden toepassing, indien men bij gereed gekomen glazen voorwerpen aanwezige spanningen wil constateren of meten. Deze ontstaan, zoals we gezien hebben, voornamelijk bij het aan elkaar smelten van verschillende glassoorten of van glas en metaal. Beter is het, wanneer men de spanningen tracht te reduceren door een onderzoek vooraf van de materialen, dat leert, of we bepaalde grondstoffen al dan niet straffeloos aan elkaar kunnen smelten. Dit gaan we nu bespreken.

Het voorkomen van spanningen door materiaalonderzoek

Het optreden van spanningen tussen twee soorten glas of tussen metalen en glas berust op een verschil in thermische uitzettingscoëfficient bij deze materialen.

Bij de bestudering van de warmte-uitzetting van verschillende stoffen moet men er wel op letten, dat de uitzettingscoëfficient afhankelijk is van de temperatuur. In *fig. 7* wordt dit nader toegelicht. De

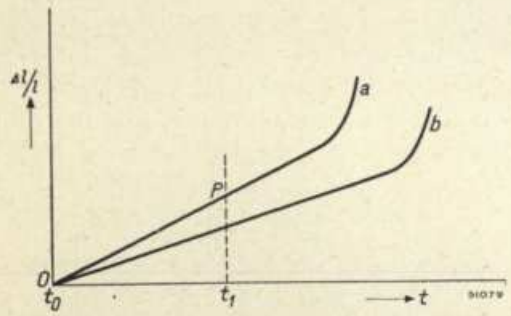

Fig. 7. Grafische voorstelling van de uitzetting van twee soorten glas, *a* en *b*. Op de horizontale as is de temperatuur in °C (t_0 is de kamertemperatuur) uitgezet en op de verticale de uitzetting per lengte-eenheid. De uitzettingscoëfficient tussen t_1 en t_0 voor glas *a* wordt gevonden door Pt_1 door $t_1 - t_0$ te delen.

lijnen *a* en *b* zijn uitzettingskrommen van twee glassoorten. Deze vertonen altijd een knik bij hun transformatiepunt, d.i., globaal gesproken, de laagste temperatuur waarbij spanningen door langdurige verwarming opgeheven kunnen worden. Beneden deze temperatuur zijn deze grafieken soms een rechte lijn; in andere gevallen laten zij een bocht zien. De gemiddelde uitzettingscoëfficient van het glas *a* tussen de kamertemperatuur t_0 en de temperatuur t_1 wordt gevonden door de lengte Pt_1 te delen door het temperatuurverschil $t_1 - t_0$.

Wanneer men twee materialen aan elkaar smelt, die volkomen dezelfde uitzettingscurve vertonen, dan is er geen reden om te verwachten, dat er bij doelmatige koeling krimpverschillen en dus spanningen zouden optreden. In de practijk zal dit heel zelden voorkomen. Bij glas kunnen zich situaties voordoen zoals in fig. 7 is aangegeven; bij een metaal heeft men dikwijls te maken met een volkomen rechte grafiek. De vraag is dan bij welke temperatuur de uitzettingscoëfficienten zo weinig moeten verschillen, dat het eindproduct geen of zo weinig mogelijk spanning zal bezitten.

Indien we glas aan metaal smelten, is deze temperatuur diegene, waarbij het glas nog slechts elastisch vervormbaar is; anders gezegd: waarbij het vast wordt. Weliswaar is dit geen scherp gedefinieerde temperatuur, maar met enige benadering kan men er toch wel over spreken. Bij versmeltingen glas-aan-glas is het de temperatuur, waarbij het bij de laagste temperatuur verwekende glas vast wordt, want de spanning gaat zich pas vormen, zodra beide soorten glas vast zijn geworden en op verschillende manieren gaan krimpen.

Om inzicht te krijgen in de ten gevolge van het verschil in uitzetting te verwachten spanningen, is het derhalve nodig twee factoren te kennen:

a) de temperatuur waarbij een glas vast wordt,
b) de uitzettingscoëfficienten van de beide aaneen te smelten materialen in het gebied van de kamertemperatuur tot de bedoelde vastwordingstemperatuur.

Dit is niet eenvoudig. Een nauwkeurige bepaling van de uitzettingscoëfficient kan slechts geschieden door een waarnemer met voldoende kennis en critische aanleg. Een fout van 1 % in een meting van deze coëfficient is bijv. bij metingen tot 400 à 500 °C alleen te voorkomen door zeer zorgvuldige maatregelen. Maar wanneer een dergelijke fout gemaakt wordt bij de bepaling van een uitzettingscoëfficient van bijv. 96×10^{-7}, een veel voorkomende waarde, dan betekent dit een afwijking van de werkelijke waarde van 1×10^{-7}, wat ontoelaatbaar groot is.

Men kan nu een spanningsonderzoek in de plaats laten treden van het meten van uitzettingscoëfficienten. Dit geeft een grote vereenvoudiging en daarbij kan men bij de onderlinge vergelijking van de uitzetting van materialen een nauwkeurig-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

heid van $\pm 0{,}15 \times 10^{-7}$ bereiken. In de Philipsfabrieken is een hierop berustende methode uitgewerkt voor een regelmatige contrôle op glassoorten en insmeltmetalen [2]). Reeds gedurende 9 jaren wordt deze met succes toegepast. Deze kan worden verricht door een persoon zonder bijzondere opleiding, indien deze maar accuraat werkt. Eén waarnemer kan per dag 15 à 20 monsters behandelen. Deze methode geeft in vergelijking met die van het rechtstreeks bepalen van uitzettingscoëfficienten een belangrijke besparing.

Het onderzoek wordt in de practijk als volgt uitgevoerd. Het te onderzoeken glas wordt aan een standaardglas vastgesmolten. Daartoe wordt van beide eerst een plaatje van ca $1 \times 1 \times 0{,}3$ cm gemaakt. Deze en ook de volgende bewerkingen worden uitgevoerd in de vlam van een gewone glasblazersbrander, die met lichtgas en lucht, of zo nodig met zuurstof, werkt. Deze plaatjes worden aan één kant, nl. die van $1 \times 0{,}3$ cm, vlak geslepen. Vervolgens worden ze in de vlam zo aan elkaar gesmolten, dat één plaatje van $2 \times 1 \times 0{,}3$ cm verkregen wordt. Het grensvlak tussen de beide plaatjes is daarbij zo kort vloeibaar geweest, dat de overgang tussen de beide glazen duidelijk zichtbaar blijft.

Nu wordt het plaatje, als het nog heet is, in een oven gebracht, waarvan de temperatuur een 100 à 150 °C hoger is dan de transformatietemperatuur van het te onderzoeken glas. Daarna wordt het afgekoeld met een snelheid van ca 2 °C per min [3]) tot een temperatuur van 200 à 250 °C en vervolgens uit de oven genomen, waarna het verder snel tot kamertemperatuur kan afkoelen. Na deze bewerking is in het plaatje alleen nog een eventuele permanente spanning aanwezig, die veroorzaakt wordt door het verschil in uitzettingscoëfficient van de beide glassoorten. Deze permanente spanning is aan het grensvlak van de beide glazen het grootst en wordt daar, in het midden van het plaatje, gemeten.

In *fig. 8* is aangegeven hoe het plaatje in een polarisatiemicroscoop met gekruiste nicols wordt geplaatst. We willen de spanning evenwijdig aan het grensoppervlak bepalen. Daartoe zorgen we, dat dit grensoppervlak een hoek van 45° met de richtingen van polarisator en analysator maakt. Het gezichtsveld zal dan oplichten, waarna men dit lichteffect door een compensator laat verdwijnen. Het spreekt vanzelf, dat daartoe de dubbele breking in het plaatje en de compensator elkaar moeten tegenwerken. Indien dit niet het geval blijkt te zijn, moet men het plaatje 90° draaien.

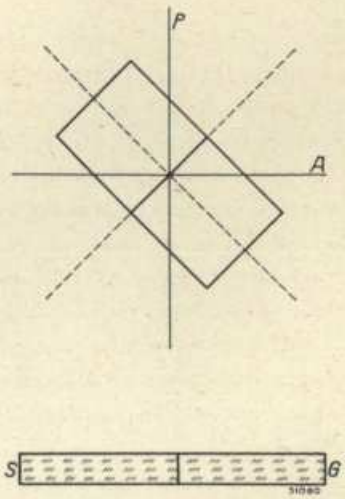

Fig. 8. De manier waarop een te onderzoeken glasplaatje *G*, vastgesmolten aan een standaardglas *S*, in een polarisatiemicroscoop geplaatst wordt. *P* en *A* zijn resp. de richtingen van de door de polarisator en de analysator doorgelaten trillingen.

Op deze wijze wordt dus de spanning van het te onderzoeken glas ten opzichte van het standaardglas gemeten. Het standaardglas is zo gekozen, dat zijn uitzettingscoëfficient niet te veel verschilt van die van het te onderzoeken glas. Voor glassoorten, die sterk in uitzetting afwijken, kiezen we een ander, dáárbij behorend standaardglas.

Wanneer we in het standaardglas drukspanning constateren, dan betekent dit, dat de uitzettingscoëfficient van het te onderzoeken glas groter is dan die van het standaardglas; nemen we trekspanning waar, dan is het juist andersom.

De verrichte metingen maken het mogelijk de onderzochte glassoorten ook onderling te vergelijken. Een glas *A*, dat een spanning *a* in het standaardglas teweeg brengt, veroorzaakt in glas *B*, dat een spanning *b* in hetzelfde standaardglas oplevert, een spanning $a-b$. (*a* en *b* zijn positief in geval van trekspanning, negatief bij drukspanning.)

Deze metingen leiden nu tot een effectieve materiaalcontrôle. Er zijn een bepaald aantal typen van versmeltingen en door langdurige waarnemingen weten wij welke spanningen tussen de materialen onderling, volgens de beschreven methode gevonden, nog toelaatbaar zijn en welke springen veroorzaken. Deze ervaringen uit de practijk zijn dus beslissend voor de vraag, of een gegeven materiaal bruikbaar is en of bepaalde samensmeltingen al dan niet uitvoerbaar zijn. Het is on-

[2]) De grondslagen van deze methode zijn gelegd door J. Smelt, die zich daarbij aansloot bij een publicatie van F. Späte, Glastechn. Berichte **2**, 1-19, 1924.

[3]) Bij variatie van de koelsnelheid van 1 °C tot 4 °C per min werden geen verschillen in de meetresultaten waargenomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

doenlijk hiervoor algemene regels te geven, omdat de toegestane spanningen te nauw verband houden met de smelttechniek, die gebruikt is, en verschillende omstandigheden zoals de vorm en de aard der objecten en de wijze waarop deze later gebruikt zullen worden.

Op het eerste gezicht lijkt deze empirische werkwijze onbevredigend. Maar een meer exacte methode, waarbij men uitgaat van de bepaalde transformatietemperaturen en elasticiteitsconstanten van de betreffende materialen om daaruit te berekenen, welke spanningen verwacht kunnen worden en in hoeverre deze de trekvastheid van het glas benaderen, is niet toe te passen. Ook wanneer men de uitzettingscoëfficienten met voldoende nauwkeurigheid kent, kan men niet volgens een theoretische methode vaststellen of de materialen samen bruikbaar zijn. Daartegen gelden dan nog de volgende bezwaren:

a) De vorm van de samensmelting is gewoonlijk zo, dat aan een berekening van de te verwachten spanning niet te denken valt.
b) De temperatuurwisselingen, die bij het verdere verwerken of later in de practijk optreden, zijn zo weinig gedefinieerd, dat ze zich niet theoretisch laten benaderen.
c) De trekvastheid van het glas is zelf een moeilijk te bepalen grootheid, daar zij in hoge mate afhankelijk is van de geaardheid zowel als van de vorm van het oppervlak en van de duur dat de trekkrachten werkzaam zijn.

Wanneer men in plaats van spanningsbepalingen metingen van uitzettingscoëfficienten zou willen gebruiken, dan zou men toch weer vervallen tot een empirisch criterium van wat wel en wat niet kan. In dat geval zijn, zoals we hierboven uiteengezet hebben, spanningsmetingen aantrekkelijker. De uitkomsten daarvan kunnen uitgedrukt worden in mμ/cm gangverschil.

De hier beschreven keuringen worden zowel voor glassoorten als voor metalen toegepast, zij het ook in het laatste geval volgens een enigszins gewijzigde methode, waarbij dan ook weer een aangesmolten standaardglas als doorzichtig meetobject dienst doet.

De ervaring leert, dat twee materialen in de regel niet voor samensmelting geschikt zijn, wanneer zij in gelijke standaardglassoorten spanningen doen ontstaan die meer dan 300 mμ/cm gangsverschil vertonen. Bij eenvoudige versmeltingen (bijv. bij gewone gloeilampen) gebruikt men echter ook nog wel materialen, waarvan de een ten opzichte van de ander een spanning van 400 à 500 mμ/cm gangverschil vertoont.

Fig. 9 laat zien in welke mate de eigenschappen van glas uit een bepaalde fabricagetank aan schommelingen onderhevig zijn. Op de verticale as is de waargenomen spanning in mμ/cm gangverschil uitgezet. In de figuur zijn drie gebroken lijnen getekend. De bovenste en de onderste vermelden de uiterste waarden die elke week voorkwamen. De middelste lijn geeft het rekenkundig gemiddelde van de waarnemingen aan. Daarbij is tevens voor iedere week het aantal steekproeven vermeld. De horizontale streeplijn geeft het maandelijks gemiddelde weer en de horizontale getrokken lijn het driemaandelijks gemiddelde.

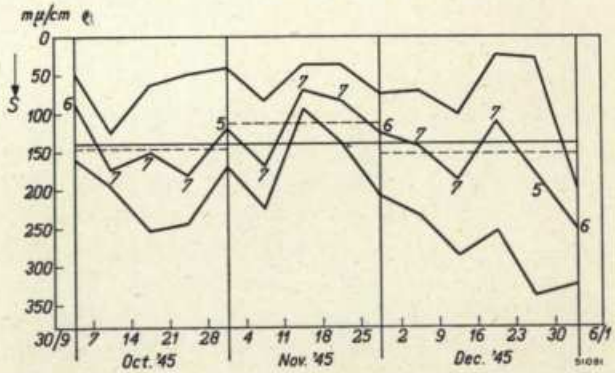

Fig. 9. Voorbeeld van een grafiek die toont, hoe de spanning varieert bij monsters, die op regelmatige tijden uit eenzelfde fabricagetank voor glas genomen worden. Op de verticale as is de spanning uitgezet. Van de drie gebroken lijnen stellen de bovenste en de onderste de uiterste waarden voor, die iedere week voorkwamen en geeft de middelste het rekenkundig gemiddelde van de waarnemingen aan. Daarbij is tevens voor iedere week het aantal steekproeven vermeld. De horizontale streeplijn geeft het maandelijks gemiddelde weer en de horizontale getrokken lijn het driemaandelijks gemiddelde.

Bij de fabricage zowel van röntgen- en zendbuizen als van gelijkrichtbuizen worden vaak metalen doppen gebruikt, die vacuumdicht aan glas moeten worden gesmolten. In fig. 2 is daar reeds een voorbeeld van gegeven. De kwaliteit van deze vacuumdichte afsluitingen wordt grotendeels bepaald door de vraag, of de krimp van het metaal en het glas een voldoende overeenstemming vertonen, wat door spanningsonderzoek vooraf moet worden vastgesteld. Materialen als chroomijzer (een legering met een uitzettingscoëfficient van 95 à 100×10^{-7}, geschikt om aan zachte glassoorten te smelten) en fernico (een ijzer-nikkel-cobalt-legering met een uitzettingscoëfficient van ca 50×10^{-7}, die voor hardere soorten glas dienst doet) ondergaan door te sterke verhitting of bij zeer lage temperatuur (bijv. —40 °C) omzettingen van de ijzermodificaties, waardoor hun uitzetting sterk wordt beïnvloed. Het spanningsonderzoek laat op snelle wijze de gevolgen van zulke wijzigingen zien. Het biedt een middel om de gevoeligheid van de materialen voor zulke temperatuurveranderingen voortdurend te controleren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In een onlangs in dit tijdschrift verschenen artikel [4]) is uiteengezet, hoe men bij de fabricage van radiobuizen van kleine afmetingen bij het aaneensmelten van glazen onderdelen gebruik kan maken van glazuren. In dat geval is een nauwkeurige aanpassing van het glazuur aan het glas noodzakelijk. Dit geschiedt eveneens door metingen onder het polarisatiemicroscoop.

Opzettelijk aangebrachte spanning

In het begin van dit artikel hebben we er op gewezen, dat bij glasruiten van zg. onbreekbaar glas met opzet in het oppervlak drukspanning wordt aangebracht ter versteviging. De lampen- en buizentechniek kent een dergelijke techniek eveneens, al wordt er daar geen uitgebreid gebruik van gemaakt. Wij willen besluiten met de beschrijving van een toepassing van deze kunstgreep, waarbij men wel in aanmerking moet nemen dat hier de gewenste spanningstoestand op enigszins andere wijze tot stand komt dan bij de eerder genoemde glasruit.

Bij een kwiklamp met hoge druk heeft de ontlading plaats in een afgesloten glazen buis, de binnenballon, die binnen de lamp is aangebracht. De stroomgeleider die de electrische stroom uit de buitenballon naar binnen moet brengen, is uit dezelfde metaaldraad gemaakt als de electrode (*fig. 10*). De ontlading, die op de uiterste punt van de electrode (bij *o*) staat, verhit deze punt intens en de rechtstreekse metallische verbinding vandaar met de zg. parel, die voor de gasdichte afsluiting tussen metaal en glas zorg draagt, geleidt de warmte goed. Daar bij het gebruik van de lamp de metalen draad dus veel warmer is dan het glas, komt de parel in een gevaarlijke toestand. Wanneer we aannemen, dat het gebruikte metaal en glas dezelfde uitzettingscoëfficient hebben en we uitgaan van een spanningsloze toestand bij kamertemperatuur, dan zal de draad als gevolg van zijn hogere temperatuur het glas in de asrichting uit elkaar trachten te trekken.

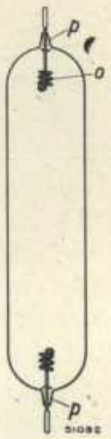

Fig. 10. De binnenballon van een ontladingslamp met kwikdamp onder hoge druk. Met *p* is de parel voor de invoer van de electrode aangeduid; *o* is de plaats der ontlading.

We kiezen nu, met behulp van spanningscontrôle, het glas zodanig, dat het een wat kleinere uitzetting heeft dan het metaal. Wordt de parel gemaakt, dan zal het metaal bij de afkoeling meer krimpen dan het glas en daardoor dit laatste in de lengterichting in elkaar trachten te duwen. Wanneer later onder de bedrijfsomstandigheden het metaal meer uitzet dan het glas, dan zal de bestaande axiale drukspanning eerst door nul moeten gaan alvorens zij overgaat in trekspanning, die bij aangroeiing gevaar kan opleveren. Ook hier wordt door een juiste materiaalkeuze springen voorkomen en een betrouwbare insmelting verkregen.

[4]) G. Alma en F. Prakke, Een nieuwe serie kleine radiobuizen, Philips techn. T. 8, 289-295, 1946 (No. 10).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN VERTRAGINGSKOPPELING VOOR KLEINE VERMOGENS

door A. VERHOEFF.

621.831.061.1

Wanneer men de beweging van een as moet overbrengen op een andere, die zich langzamer dient te bewegen, maakt men meestal gebruik van wormwielen of van tandraderen. In dit artikel wordt een transmissie-combinatie beschreven, die, wanneer de overbrengverhouding groot (bijv. 500 : 1) en het over te brengen vermogen klein is, bepaalde voordelen biedt.

Bij allerlei machines en installaties is het nodig rotaties van de ene as op de andere over te brengen. Men maakt daarbij meestal gebruik van wormwielen of van tandraderen, waarbij de verhouding van de aantallen tanden van de in elkaar grijpende raderen zo gekozen wordt, dat de beweging in de gewenste verhouding versneld of vertraagd wordt. In dit artikel beperken we ons tot vertragingen. Indien de overbrengverhouding groot (bijv. 500 : 1) is, dan is deze transmissie soms moeilijk. Men heeft dan immers òf een meervoudige wormwielcombinatie òf een stelsel van verscheidene tandraderen nodig. Daardoor zal (in het bijzonder in het eerste geval) het nuttig effect klein worden, doch bovendien doen zich dikwijls constructieve moeilijkheden voor. In deze gevallen kan men, voor zover het vermogen, dat overgebracht moet worden, klein is, met voordeel gebruik maken van de vertragingskoppeling, die hieronder beschreven wordt.

In *figuur 1a* en *b* is deze constructie schematisch voorgesteld. Bij de bestudering daarvan houde men wel in het oog, dat T_4 een vaststaande tandbaan (tandkrans met binnenvertanding) is, die voldoende stevig is opgesteld.

Door middel van het kleine tandwiel T_1, dat op de aandrijfas A is bevestigd, worden de tandwielen T_2 en T_3 op de nevenas B in beweging gebracht in de richting van de pijl. Deze met elkaar gekoppelde tandraderen, waarvan de as B gelagerd is in een uitgebalanceerde vork of schijf S (die los om de as A kan draaien), wentelen hierdoor volgens de pijlrichting vrijdraaiend om de aandrijfas, waarbij de tanden van het brede kleine tandwiel T_3 zowel in de binnenvertanding van de stilstaande tandbaan T_4 als in het tandwiel met binnenvertanding T_5 grijpen. Dit laatste is bevestigd op de flens C, die aangedreven moet worden. Tandwiel T_5 heeft dezelfde steekcirkel als T_4, doch bijv. 1 tand meer dan deze. Het gevolg hiervan is, dat na elke omwenteling van S de tandkrans T_5 door het ronddraaiende tandwiel T_3 één tand ten opzichte van T_4 verplaatst is. Bij iedere omwenteling van S heeft derhalve het tandwiel T_5 met de aan te drijven flens C $1/t_5$ omwenteling gemaakt, indien we het aantal tanden van T_5 met t_5 aanduiden.

Men kan nu gemakkelijk berekenen hoe groot de hierbij bereikte vertraging is. Daarbij moet men er op letten, dat de schijf S met de daarin gelagerde tandwielen T_2 en T_3 dezelfde draairichting heeft

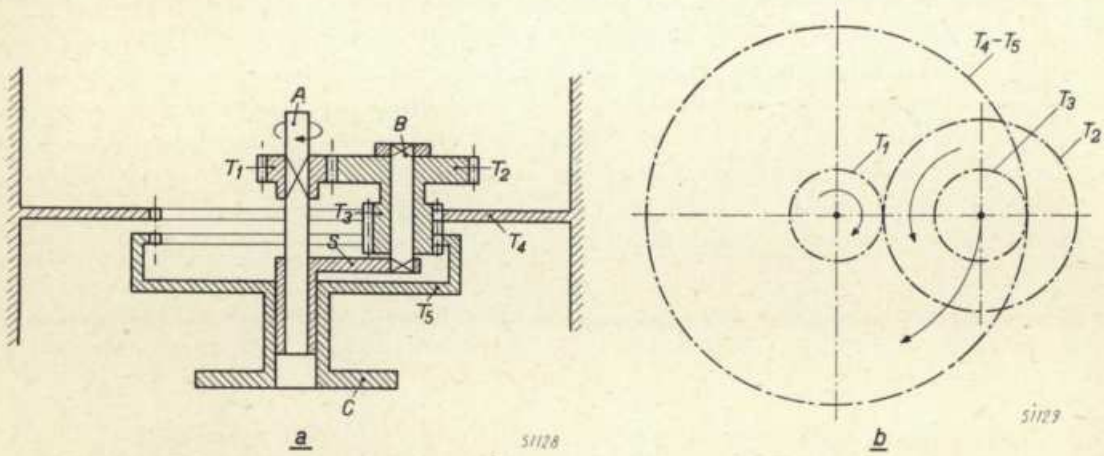

Fig. 1. Schematische voorstelling van de beschreven vertragingskoppeling: *a*) doorsnede van het vertragingsmechanisme *b*) steekcirkels en bewegingsrichting der verschillende tandwielen. Het tandwiel T_1 is op de aandrijfas A bevestigd. De tandwielen T_2 en T_3, die om de nevenas B draaien, zijn samen gelagerd in de schijf of kruk S, die om de as A draait. T_4 is een vaststaande tandbaan met binnenvertanding, terwijl T_5 tenslotte een roterend tandwiel met binnenvertanding is, dat met de aan te drijven flens C gekoppeld is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

als T_1 (zie fig. 1*b*). Tijdens een volle omwenteling van S zal T_3 nog éénmaal extra om zijn eigen as wentelen, zodat men bij het aantal omwentelingen, dat gevonden wordt uit de verhouding van de aantallen tanden t_4 en t_3, nog 1 moet optellen.

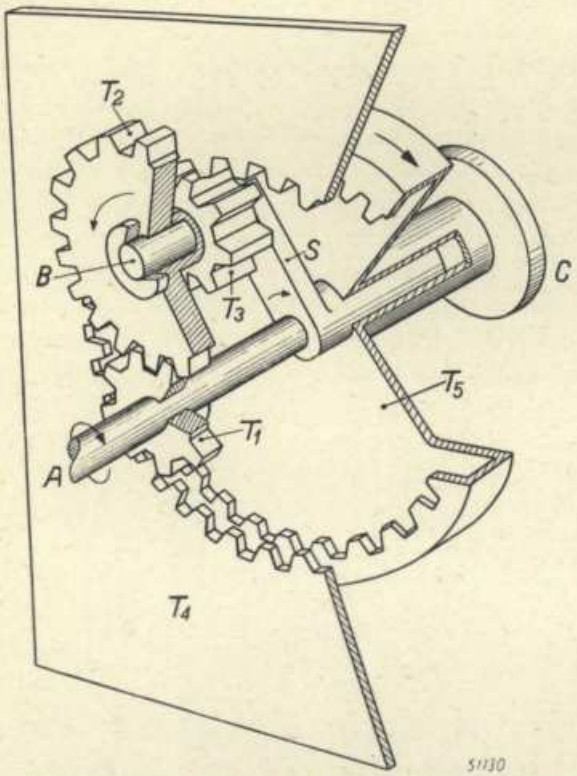

Fig. 2. Perspectivische tekening van de nieuwe vertragingskoppeling (schematisch). Voor de betekenis der letters wordt verwezen naar de tekst en het onderschrift van figuur 1.

Noemen we de aantallen tanden der vijf raderen resp. t_1, t_2, t_3, t_4 en t_5 en stellen we

n = aantal omw/min van de met T_1 verbonden aandrijfas A,

N = aantal omw/min van de via T_5 aangedreven flens C, dan vindt men

$$\frac{n}{N} = \left(\frac{t_2}{t_1} \times \frac{t_4}{t_3} + 1\right) \times \frac{t_5}{t_5 - t_4}.$$

Nemen we als getallenvoorbeeld

$$t_2 : t_1 = 2 : 1,$$
$$t_4 : t_3 = 5 : 1,$$
$$t_5 : t_4 = 45 : 44,$$

dan vinden we

$$\frac{n}{N} = \left(\frac{2}{1} \times \frac{5}{1} + 1\right) \times \frac{45}{45 - 44} = 495.$$

De overbrengverhouding is in dit geval dus 495 : 1.

In *fig. 2* is de verwerkelijking van de beschreven transmissie getekend. Uit deze afbeelding en de gegeven beschrijving blijkt, dat de assen voor hoog en laag toerental in elkaars verlengde liggen en dat het apparaat een compacte bouw heeft, twee eigenschappen, die deze constructie aantrekkelijk maken. Wat de practische uitvoering betreft merken we nog op, dat men, om de twee tandbanen T_4 en T_5 met dezelfde steekcirkel en een klein verschil in het aantal tanden te verkrijgen, deze tanden met dezelfde beitel kan steken, daarbij verschillende verdelingen op de verdeelkop van de steekbank gebruikend. Als $t_5 = t_4 + 1$, wordt de tanddikte van T_5, zoals men gemakkelijk inziet, $2/t_5$ van de tanddikte van T_4 kleiner dan die van T_4.

Transmissiesystemen waarbij gebruik gemaakt wordt van tandraderen met eenzelfde steekcirkel, doch een klein verschil in de aantallen tanden, zijn ook vroeger wel in de literatuur beschreven en in de practijk verwezenlijkt. De essentiële verbetering, die hier aangebracht is, bestaat daarin, dat het

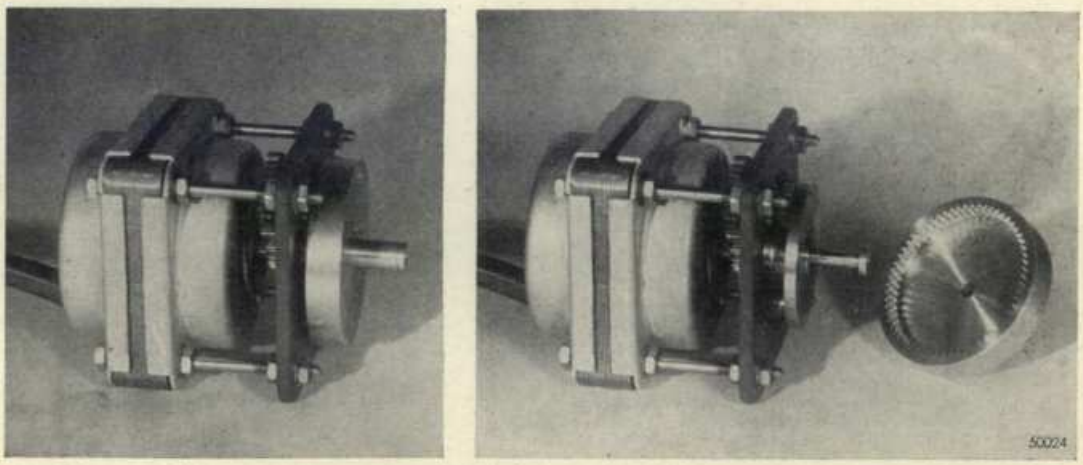

Fig. 3. Een vertragingskoppeling gemonteerd op de as van een motortje. *Links*: het apparaat gereed voor gebruik; *rechts*: het eindwiel T_5 is duidelijkheidshalve losgeschroefd. De overbrengverhouding bedraagt hierbij 500 : 1. Bij latere uitvoeringen is de constructie in die zin gewijzigd, dat twee of drie met elkaar verbonden gelijke tandwielen T_3 zich binnen de tandbaan T_4 bewegen, wat aan een regelmatige gang ten goede komt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

aandrijven van T_3 plaats grijpt via een tussenoverbrenging T_1-T_2. Daardoor wordt een belangrijke factor in de overbrengverhouding gewonnen.

Door het veranderen van de aantallen tanden t_1 en t_2 van de raderen T_1 en T_2 kan de overbrengverhouding tussen ruime grenzen gevarieerd worden. Deze vertragingskoppeling biedt echter nog meer mogelijkheden. Tot dusver hebben we aangenomen, dat de tandbaan T_4 vast was opgesteld. Wanneer men deze krans met binnenvertanding daarentegen draaibaar maakt en met een overbrenging aan de aandrijfas verbindt, krijgt men een onbegrensde regelmogelijkheid van de overbrengverhouding. Daarbij is het niet alleen mogelijk, dat T_5 stilstaat, doch ook dat dit rad tegengesteld aan de oorspronkelijke richting gaat draaien.

In *fig. 3* is een vertragingskoppeling volgens het hier beschreven systeem afgebeeld, die in het Philips Natuurkundig Laboratorium voor verschillende doeleinden in gebruik is. Deze is gemonteerd op de as van een kleine motor en wordt o.a. gebruikt bij hoogspanningsinstallaties voor het verschuiven van contacten bij regeltransformatoren, die op een afstand bediend moeten worden, en voor het aandrijven van roerinrichtingen bij chemische experimenten.

Bij deze toepassingen is het nuttig effect van weinig betekenis. Bij meting is echter gebleken, dat het rendement bij kleine belastingen zeer bevredigend is (ca 80% bij een vermogen van 0,1 watt). Bij overbrenging van grotere vermogens neemt het nuttig effect snel af, wat trouwens ook bij wormwielconstructies en bij de gebruikelijke tandradsystemen het geval is.

BOEKBESPREKING

Zendbuizen, door J. P. Heyboer †, 320 blz., 285 fig., Philips Technische Bibliotheek, Deel VII van de reeks over Electronenbuizen, N.V. Meulenhoff & Co., Amsterdam 1946.

De schrijver van dit boek heeft bij de N.V. Philips jarenlang in de ontwikkeling van nieuwe zendbuizen een belangrijk aandeel gehad. Voor hij in 1945 als slachtoffer van het verzet zijn leven liet, had hij zijn ervaringen en inzichten op schrift gesteld, welk geschrift nu door de uitgave van dit boek ook voor anderen toegankelijk is geworden. Bij het doorlezen proeft men dan ook telkens dat de behandeling van de diverse problemen en de beschouwingen die daaraan worden vastgeknoopt, op eigen ervaringen en zelf gewonnen inzichten berusten, hetgeen aan dit boek wel een bijzonder cachet heeft gegeven.

Na twee inleidende hoofdstukken, waarin de onderdelen en de bouw der zendbuizen alsmede hun classificatie worden besproken, volgt in hoofdstuk III de behandeling van de triode als zenderversterker. Na berekeningen over de bij impulsexcitatie optredende stroomcomponenten volgen uitvoerige beschouwingen over het afgegeven vermogen en het rendement, en worden de verschillende factoren waardoor deze grootheden worden begrensd onder de loupe genomen. Telkens worden de resultaten zoals die volgen uit geschematiseerde buiskarakteristieken vergeleken met die, welke aan werkelijk gemeten karakteristieken worden gevonden. Op analoge wijze worden in hoofdstuk IV de tetrode en penthode als versterkbuizen behandeld.

Vervolgens wordt in een drietal hoofdstukken de werkingswijze van de zendbuis in andere toepassingen onderzocht. Hoofdstuk V behandelt de modulatie van de zenderversterker, de hoofdstukken VI en VII bespreken de zendbuis als oscillator resp. als frequentievermenigvuldiger.

In het achtste hoofdstuk komen enkele speciale onderwerpen (roosteremissie, ontladingen in zendbuizen, enz.) ter sprake die bij het practische gebruik in de zender van betekenis zijn. Het laatste hoofdstuk is gewijd aan zendbuizen voor zeer hoge frequenties. Eerst wordt behandeld het opwekken van zeer hoge frequenties met behulp van terugkoppelschakelingen, daarna wordt de invloed van de traagheid der electronen op de werking van een zendbuis onderzocht; in het laatste gedeelte van het hoofdstuk wordt de werking van de inhaalbuis en de versterkbuis volgens Haeff uiteengezet.

In het aanhangsel worden tenslotte nog enkele kwesties behandeld betreffende vermogen, rendement en distorsie van laagfrequent-versterkers, die het modulatievermogen voor telefoniezenders moeten leveren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!